

**UNTERSUCHUNG ZUM ABROLLVERHALTEN BEI
CHRONISCHER POLYARTHRITIS**

- Dynamische Druckverteilungsmessung am Fuß -

URSULA FASSNACHT

1987

Disbui. München

1987





Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554818_0126

Aus dem Städtischen Krankenhaus München-Schwabing, III. Med.Abt.

Vorstand: Prof. Dr. med. H. Mehnert

Untersuchung zum Abrollverhalten bei chronischer
Polyarthrititis

- Dynamische Druckverteilungsmessung am Fuß -

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

URSULA FASSNACHT

aus

MÜNCHEN

Jahr

1987

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. med. H. Mehnert
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. med. B. Rosemeyer Prof. Dr. med. M. Schattenkirchner
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. med. P. Schaff
Dekan:	Prof. Dr. med. Dr. h.c. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung:	26. 11. 37

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einführung und Thematik	1
2. Die chronische Polyarthrititis an der unteren Extremität	3
2.1 Klinik	3
2.2 Röntgendiagnostik	5
3. Techniken und Erkenntnisse in der Ganganalyse	7
3.1 Verfahren zur Messung von Druckverteilung und Bodenreaktionskräften	7
3.2 Erkenntnisse zu Kinematik und Kinetik des Abrollvorgangs	9
3.2.1 Kinematik des Abrollvorgangs	9
3.2.2 Kinetik des Abrollvorgangs	10
4. Vorliegende Untersuchungen zum Gehverhalten von Rheumatikern	12
5. Eigene Untersuchung	15
5.1 Methode und Versuchsaufbau	15
5.2 Versuchsdurchführung	19
5.2.1 Pedographische Messung	19
5.2.2 Klinische Untersuchung/photogr. Dokumentation	20
5.3 Beschreibung der Kollektive	21
5.4 Meßgrößen und Modalitäten der Auswertung	24
5.5 Statistische Ausarbeitung	26
5.6 Ergebnisse	30
5.6.1 Maximaldruckbild und Kraftverlaufskurven	30
5.6.2 Quantitative Analyse der Druckverteilung unter einzelnen Fußabschnitten	34
5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse	47
5.8 Fallbeispiel	48
5.9 Diskussion	54
5.9.1 Interpretation der Ergebnisse	54
5.9.2 Andere Untersuchungen im Vergleich	57
6. Zusammenfassung	59
7. Anhang	61
7.1 Literaturverzeichnis	61

1. Einführung und Thematik

Im Verlauf einer chronischen Polyarthrit (synonym: rheumatoide Arthritis) kommt es durch progrediente Gelenkdestruktionen, unter Einbeziehung benachbarter Strukturen, zu schwerwiegenden Funktionseinschränkungen des Bewegungsapparats.

Neben der medikamentösen und gegebenenfalls operativen Therapie stellen physikalische und konservativ-orthopädische Maßnahmen einen wichtigen Pfeiler im Behandlungsschema.

Im Bestreben, Invalidität begründende Endzustände zu verhindern bzw. hinauszuzögern, wird schon frühzeitig eine umfassende präventive Therapie eingeleitet. Dabei ist auf Krankengymnastik, die im wesentlichen auf Muskelkräftigung und Erhaltung der Gelenkbeweglichkeit abzielt, nicht zu verzichten. Bei Betroffenheit der unteren Extremität muß schon in Anfangsstadien eine orthopädische Schuh- und Einlagenversorgung sowie eine Gangschulung veranlaßt werden.

Zur Optimierung und Erfolgskontrolle derartiger Maßnahmen könnte die genaue Kenntnis der dynamischen Fußbelastungssituation wesentlich beitragen.

In diesem Zusammenhang sollte in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, ob durch die hierbei angewendete Methode der dynamischen Druckverteilungsmessung unter der Fußsohle (Pedographie) ein diagnostischer Gewinn in bezug auf Gehverhalten und Funktionsstatus der Gelenke erzielt werden kann. Es sollte geprüft werden, inwieweit sich spezifische Auswirkungen pathologischer Gelenksituation bei rheumatoider Arthritis auf den Abrollvorgang nachweisen lassen.

Die Messungen wurden mit dem Pedographiegerät Emed F der Fa. Novel GmbH (kapazitive Messung der Vertikalkraft nach Nicol und Hennig) während eines normalen Gehvorgangs durchgeführt. Berücksichtigt wurden neben den bisher schon gelegentlich untersuchten Vorfußpatienten auch Kollektive mit ausgeprägten Sprung- und Kniegelenkmanifestationen.

Folgende Fragestellungen umreißen die Thematik:

- Läßt sich bei CP-Patienten ein von der Norm abweichender Abrollvorgang nachweisen, d.h. qualitativ und quantitativ erfassen?
- Bestehen darüber hinaus Unterschiede in der Druckverteilungssituation (unter der Fußsohle) zwischen Kollektiven mit divergierendem Gelenkbefallsmuster?

2. Die chronische Polyarthrititis an der unteren Extremität [12, 18, 28]

2.1 Klinik

Auch an den Gelenken der unteren Extremität durchläuft der Krankheitsprozeß die charakteristischen Stadien:

So kommt es über Synoviitiden zu Bindegewebsproliferation mit Pannusbildung und weiter zu progredienter Knorpel- und Knochen-destruktion. Bewegungseinschränkung und Reparationsvorgänge münden schließlich in fibrösen und knöchernen Ankylosen. Die Beteiligung benachbarter Strukturen äußert sich als Tenosynoviitis, Faszitis, Muskelatrophie. Auch der Kapsel-Band-Apparat der Gelenke wird nicht ausgespart.

Es resultieren schließlich typische Deformationen mit Subluxationen und Luxationen, Instabilitäten und Kontrakturen - bis hin zu Mutilationen, besonders der kleinen Gelenke (Zehengrundgelenke).

Ein Befall des Vorfußes tritt zu 79 - 90 % im Verlauf einer rheumatoiden Arthritis auf (Gschwend, 1977; Siegrist, 1968)¹; oberes und unteres Sprunggelenk sind in bis zu 50 bzw. 70 % der Fälle betroffen (Gschwend, 1977; Vainio, 1956)¹.

Schon im Frühstadium kann eine Vorfußmanifestation - in der Regel an den Zehengrundgelenken II - V - zu Beschwerden beim Gehen führen. Mit fortschreitendem Entzündungsprozeß entwickelt sich dann das typische Bild eines kontrakten Spreizfußes mit nach plantar luxierten, klavusbedeckten Metatarsalköpfchen, nach fibular abduzierten Hammerzehen und einem höhergradigen Hallux valgus (Abb. 1).

¹ zitiert aus: Mathies, Handbuch der Inneren Medizin/Rheumatologie [28]

Der Befall des Sprunggelenks kündigt sich häufig durch eine Schwellung an und gipfelt in der Regel in einer Valgusfehlstellung des Rückfußes ("rheumatischer Senk-Knickfuß", nach Vahvanen in 87,4 %) ¹.

Bei einer Beteiligung des oberen Sprunggelenks (Talocruralgelenk) kommt es zu einer eingeschränkten Beuge- und Streckfunktion. Ist das untere Sprunggelenk (Talonavicular- und seltener, Talocalcanealgelenk) mit einbezogen, sind darüber hinaus Pronation und Supination behindert. Dabei soll der Befall des unteren Sprunggelenks früher und häufiger anzutreffen sein (Vainio) ¹.

Auch am Kniegelenk manifestiert sich die Arthritis mit Schwellungen und Ergüssen. Funktionseinschränkungen imponieren hier als Beuge- und Streckdefizit; schon frühzeitig kann sich eine Atrophie der Oberschenkelmuskulatur (Quadriceps femoris) entwickeln. Von funktioneller Bedeutung ist vor allem die häufige Beugekontraktur. Ein Befall der Bursa gastrocnemio-semimembranosa mit konsekutivem Erguß wird als "Baker-Zyste" bezeichnet. Infolge eines plötzlichen Druckanstiegs kann diese ruptieren und es kommt zum Austritt von Gelenkflüssigkeit.

Vor allem in Spätstadien findet sich schließlich auch ein Befall der Hüftgelenke. Schmerzen und Bewegungseinschränkungen (vornehmlich Beugekontraktur) sind auch hierbei anzutreffen.

¹ zitiert aus: Mathies, Handbuch der Inneren Medizin/Rheumatologie [28]

2.2 Röntgendiagnostik [25, 28]

Eine etablierte Methode der Stadieneinteilung bei chronischer Polyarthrit is t die Klassifizierung nach Steinbrocker(1949)¹. Neben Klinik und Funktionsstatus der Gelenke wird vor allem der Röntgenbefund zur Bestimmung des Krankheitsstadiums herangezogen (Tab. 1). Großes Interesse wird auch der von Larsen (1974 [25]) vorgeschlagenen fünffach abgestuften Einteilung entgegengebracht, die sich insbesondere am Befall der lateralen Metatarsophalangealgelenke und der Handgelenke orientiert (größte Korrelation von Ausprägungsgrad des Gelenkbefalls und Krankheitsdauer).

Die Einteilung nach Steinbrocker ist jedoch nach wie vor am weitesten verbreitet und gut praktikabel. Sie kommt daher hier in der Klassifizierung des Patientenkollektivs zur Anwendung.

Tab. 1 Röntgenologische Stadieneinteilung nach Steinbrocker¹ und Larsen¹

Stadium	Steinbrocker	Larsen
I	- Osteoporose (gelenknah)	- ungewisse Frühphase gelenknah: Osteoporose
II	- zusätzl.: beginnende Knorpel- und Knochen- destruktion	- definitive Frühphase Erosionen, Gelenkspalt- verschmälerung
III	- Knorpel- und Knochen- destruktion, Subluxationen	- mittlere destruktive Phase fortgeschrittene Erosionen und Gelenkspaltverschmälerung
IV	- Luxationen, Ankylosen, Gelenkdestruktion	- schwere destruktive Phase erhebliche Destruktionen und Deformitäten
V		- mutilierende Phase Knochendeformationen

¹ zitiert nach: Mathies, Handbuch der Inneren Medizin/
Rheumatologie [28]



Abb. 1 und 2

Klinischer und röntgenologischer Vorfußbefund bei rheumatoider Arthritis (♀, 40 J., Krankheitsdauer 15 J.)

Abb. 1

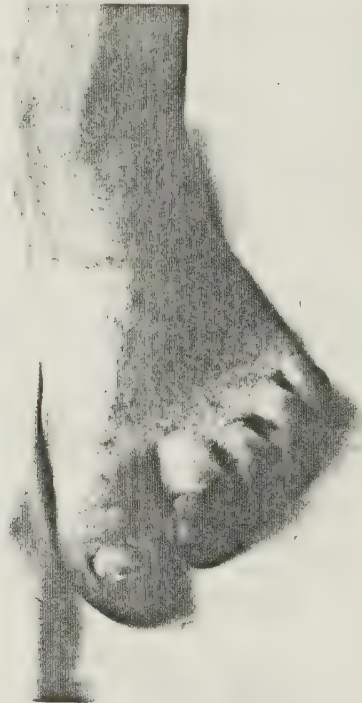


Abb. 2



3. Techniken und Erkenntnisse in der Ganganalyse

Der Bewegungsablauf beim Gehen wird seit etwa 3 Jahrhunderten studiert [3, 23].

In heutigen Untersuchungen kommen verschiedene Techniken, häufig auch kombiniert, zur Anwendung. So liefern Filmaufnahmen Informationen zur Kinematik des Gehvorgangs. Der Bewegungsspielraum der Gelenke wird durch Goniometer, die Muskelkraft durch Elektromyographie bestimmt. Zur Messung von Bodenreaktionskräften und Druckverteilung unter der Fußsohle dienen Kraftmeßplattformen.

3.1 Verfahren zur Messung von Druckverteilung und Bodenreaktionskräften

Zur quantitativen Bestimmung von lokaler Druckbelastung sowie auf die Fußsohle wirkender Kräfte beim Gehen (und Stehen) wurde in den letzten 50 Jahren eine Vielzahl von Verfahren entwickelt.

Ein in den 30iger Jahren von Elftmann (1934 [11]) vorgestelltes und bis in die jüngste Vergangenheit verbessertes Verfahren (Helm 1965 [16] und Beierlein 1976 [4]) basiert zum Beispiel auf verformbaren Pyramidenspitzen einer Gummimatte. Die in Abhängigkeit von der Höhe der Druckbelastung abgeplatteten Pyramiden können durch eine Glasplatte beobachtet bzw. gefilmt werden.

Unter den in neuerer Zeit entwickelten Verfahren konnten sich vor allem 3 Methoden durchsetzen, die von verschiedenen Autoren angewendet und zum Teil modifiziert wurden.

Auf der Photoelastizität einer dünnen Plastikschiicht bzw. deren durch Druck veränderbarer Lichtdurchlässigkeit basiert die von Arcan und Brull 1976 vorgestellte Methode [1].

Vielfach angewendet werden auch piezoelektrische Meßaufnehmer [7], mit denen alle 3 Komponenten der resultierenden Bo-

denreaktionskraft erfaßt werden können.

Auf dem kapazitiven Meßprinzip basiert das von Nicol und Hennig 1976 [31] erstmals vorgestellte Verfahren zur Messung von Vertikalkräften. Ein Vorteil gegenüber piezoelektrischen Meßaufnehmern ist die mit hoher Auflösungsgenauigkeit mögliche Lokalisierung der auftretenden Kräfte an der Fußsohle.

Neben den ortsfesten Versuchsständen wurden inzwischen auch Meßaufnehmer für die Messung im Schuh entwickelt (Cavanagh, 1980 [5], Diebschlag, 1982 [9], Schaff, 1986 [5]). Parallel dazu wurden und werden die computergestützten Auswertungsmöglichkeiten ständig weiterentwickelt.

3.2 Erkenntnisse zu Kinematik und Kinetik des Abrollvorgangs

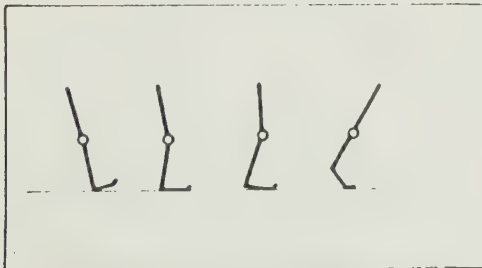
3.2.1 Kinematik des Abrollvorgangs [3, 8, 9, 13]

Einheit des Gangzyklus ist der Doppelschritt, bestehend aus Standphase (60 %) und Schwungphase (40 %). Zwischen dem Abheben und Wiederaufsetzen des Schwungbeines wird über einen Zeitraum von 40 % der Standphase das gesamte Körpergewicht über einen Fuß beschleunigt (Einzelstandphase). Hinzu kommt ein dynamischer Anteil von etwa 20 % (Körpergewicht) bei normaler Gehgeschwindigkeit (vgl. Diebschlag [9], Debrunner [8]).

Während des Abrollvorgangs kommt es zu komplexen Bewegungsabläufen im Sprunggelenk: Eine vollständige Dorsalextension (10°) wird dabei zum Zeitpunkt des initialen Abhebens der Ferse erreicht; ihr folgt beim Abstoßen durch den Vorfuß eine Plantarflexion von 10° (Funktionen des oberen Sprunggelenks). Im unteren Sprunggelenk wird der Fuß beim Aufsetzen der Ferse proniert ($3 - 4^{\circ}$), beim Abstoßen supiniert (4° ; Debrunner [8]).

In bezug auf das Kniegelenk kommt es zu einer subtotalen Streckung jeweils beim Aufsetzen der Ferse und beim Wiederabheben des Fußes. Dazwischen, während der Einzelstandphase, ist das Knie leicht gebeugt (Baumann [3]).

Abb. 3 Bewegungen im oberen Sprunggelenk und im Kniegelenk während des Abrollens



3.2.2 Kinetik des Abrollvorgangs [7, 8, 10]

Die während der Standphase eines Gehvorgangs auftretenden Bodenreaktionskräfte bestehen aus 3 Raumkomponenten. Einen nur geringen Anteil haben mit maximal 40 bzw. 5 % Körpergewicht Sagittal- und Transversalkraft (Horizontalkräfte in bzw. quer zur Gehrichtung). Der Gesamtkraft am nächsten kommt die vertikale Komponente: Zeitabhängig während eines Abrollvorgangs registriert ergibt sich ein typischer 2-gipfliger Kurvenverlauf (Abb. 5). Durch den dynamischen Kraftanteil liegen die Maxima über dem Körpergewicht (ca. 120 % Körpergewicht).

Im Verlauf eines Abrollvorgangs tritt das erste Maximum etwa zum Zeitpunkt des Fersenkontakts auf, das zweite Maximum beim Abstoßen durch den Vorfuß. Das dazwischenliegende Minimum kann zeitlich dem Durchschwingen des Spielbeins zugeordnet werden (Claeys [7], Diebschlag [10], Debrunner [8]).

Abb. 4 Raumkomponenten der resultierenden Bodenreaktionskraft

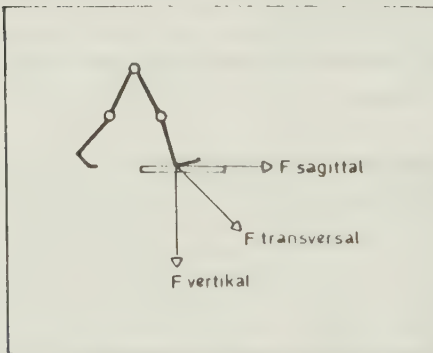
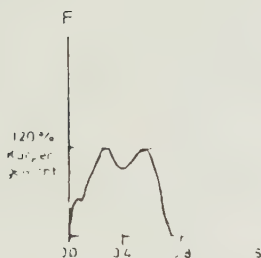


Abb. 5 Zeitabhängiger Verlauf der Vertikalkraft
während des normalen Abrollvorgangs



4. Vorliegende Untersuchungen zum Gehverhalten von Rheumatikern

- An der Mayo-Klinik hat sich unter Chao [6, 14, 41] eine Methode der Ganganalyse etabliert, die auf der Kombination verschiedener Meßverfahren beruht: Bodenreaktionskräfte und Gangcharakteristika werden mit einer piezoelektrischen Meßplattform und mit elektrischen Fußschaltern analysiert, die Bewegungsradien der Gelenke durch Elektrogoniometer bestimmt. Hinzu kommt noch die Messung isometrischer Muskelkontraktionen (z.B. Quadriceps femoris bei Kniepatienten).

Stauffer (1977 [41]) und Györy (1976 [14]) berichten über Untersuchungen an Kniepatienten, darunter 30 Patienten mit rheumatoider Arthritis.

Neben einer reduzierten Gehgeschwindigkeit und der Verlängerung der Standphasendauer, konnten sie insbesondere eine Abnahme der Bewegungsfunktionen in der Sagittalebene bei ausgeprägter Flexion im Stehen feststellen. Es fand sich eine Korrelation mit der Schwere des Krankheitsbilds, d.h. mit Schmerz, Bänderinstabilität, Muskelschwäche etc. Dabei wird die Muskelkraft als wesentliche Determinante dieses veränderten Gangprofils gesehen, durch das die Patienten offenbar ein besseres propriozeptives Feedback erreichen.

Im Hinblick auf die Bodenreaktionskräfte fanden die Autoren einen Anstieg der Transversalkraft sowie einen von der Norm abweichenden Kurvenverlauf der Vertikalkraft mit erniedrigten Maxima und erhöhtem Minimum. Vor dem Hintergrund dieser Resultate wurde eine Stadieneinteilung als Basis zur Therapiekontrolle entwickelt.

- In einer Studie, die den Nutzen von Orthesen prüfen sollte, untersuchten Locke et al. (1984 [27]) 25 cP-Patienten mit Sprunggelenkmanifestation. Sie bedienten sich dabei elektrischer Goniometer sowie eines in eine Sohle integrierten Fußschaltersystems.

Es konnten Bewegungseinschränkungen des oberen und unteren Sprunggelenks nachgewiesen werden. Insbesondere wird auch die Wichtigkeit dynamischer Messungen betont, da die Gelenkbewegungen beim Gehen keine Übereinstimmung mit dem passiv gemessenen Bewegungsspielraum zeigten.

Bei einem Teil der Patienten konnte beobachtet werden, daß eine Flexion im Kniegelenk während des Abrollens beibehalten wurde. Dies wird als eine Möglichkeit interpretiert, eine weitergehende Dorsalextension im oberen Sprunggelenk zu unterstützen.

- Minns und Craxford (1984 [29]) führten vergleichende Messungen mit einem Pedobarographen (statisch) und einer instrumentierten Kraftmeß-Sandale (dynamisch) durch.

Bei 124 cP-Patienten ließen sich im Vergleich zu Normalpersonen stark erhöhte Druckwerte unter den Metatarsalköpfchen nachweisen.

Bei der statischen Messung waren diese unter subjektiv schmerzhaften Regionen, in der Mehrzahl zentral, lokalisiert. Die dynamische Messung ergab eine Lateralisierung der Belastung.

- Auf dynamischer Druckverteilungsmessung (Methode nach Arcan/Brull) basiert auch die von Simkin 1981 [37] veröffentlichte Untersuchung an Rheumatikern mit Vorfußbefall (n = 18).

Neben der Vertikalkraft führte Simkin als zusätzliche Meßgröße den "Impuls" ein - das Integral der Fläche unter der Kraftverlaufskurve. Im Mittel- und Vorfußbereich zeigten beide Meßgrößen ein gleichsinniges Verhalten: Während der Mittelfuß stärker belastet wurde, konnten unter den Zehen der Patienten verringerte Werte festgestellt werden; im Metatarsalbereich fand sich eine Reduktion unter den Metatarsalia I und II bei unveränderter Belastung der lateralen Metatarsalköpfchen. Signifikant war diese Entlastung der medialen Metatarsalia allerdings nur für ein Teilkollektiv mit Bewegungseinschränkung im Sprunggelenk.

Hohe Druckspitzen unter den Metatarsalia (besonders Met.III) korrelierten mit subjektivem Schmerzempfinden. In bezug auf die Vertikalkraft waren die unter dem gesamten Ballenbereich gemessenen Werte bei Patienten und Normalpersonen fast identisch.

Unter der Ferse wiesen die Patienten niedrigere Wert auf.

An allgemeinen Gangparametern konnte Simkin bei den Patienten unter anderem eine Verringerung von Schrittlänge und Gehgeschwindigkeit bei einer Zunahme der Standphasendauer feststellen. Die insgesamt gemessene Vertikalkraft (beschleunigtes Körpergewicht) war erniedrigt.

- Auch Sharma et al. (1979 [36]) konnten bei ihrem Patientenkollektiv (Vorfußbefall, n = 27) eine reduzierte Zehenbelastung nachweisen. Signifikant verringert waren die unter Metatarsale I gemessenen Druckwerte bei einem schwerstbetroffenen Teilkollektiv. Die von ihnen beschriebene Lateralisierung der Belastung (von Met. I/II auf Met. III-V) interpretieren die Autoren als eine Folge eingeschränkter Pronationsfähigkeit des Fußes bzw. der Verlagerung des von den Zehen nicht mehr übernommenen Gewichts.

Im Gegensatz zu Simkin fand sich bei dem hier untersuchten Kollektiv keine Veränderung der Fersenbelastung und sogar eine Erniedrigung der Mittelfußbelastung.

- In einer parallel durchgeführten Untersuchung an 38 Vorfußpatienten - ebenfalls mit dem Emed-F-System - kamen Jürgens et al. (1987 [21]) zu folgenden Ergebnissen:

In Abhängigkeit vom Ausprägungsgrad des Gelenkbefalls fand sich eine verminderte Zehenbelastung; unter den zentralen Metatarsalköpfchen konnten hohe Druckspitzen nachgewiesen werden - bei entsprechend erhöhtem Endausschlag in der Maximaldruckkurve (Abstoßphase). Auch war die Dauer der Vorfußbelastung verlängert.

Die Zunahme der Mittelfußbelastung korrelierte ebenfalls mit einer verlängerten Belastungsdauer.

Weiterhin konnte eine Nivellierung in der Verlaufskurve der Vertikalkraft festgestellt werden.

5. Eigene Untersuchung

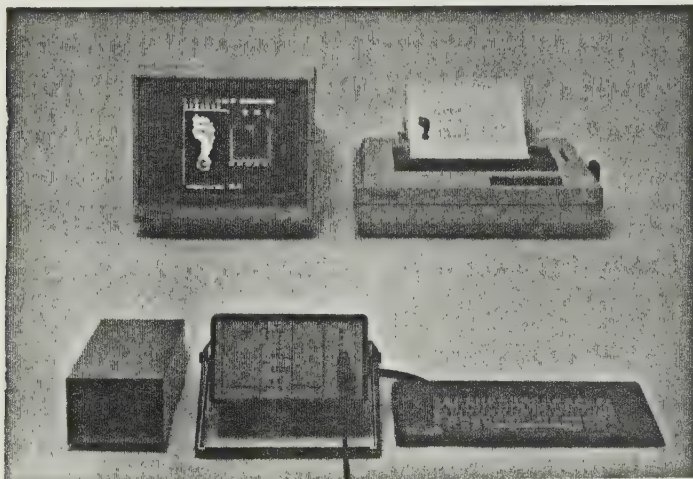
5.1 Methode und Versuchsaufbau

Die hier beschriebene Methode der dynamischen Druckverteilungsmessung unter dem Fuß ("Pedographie") basiert auf dem kapazitiven Meßprinzip; erfaßt wird die vertikale Komponente der Bodenreaktionskraft. Das bei den Untersuchungen verwendete System - Emed-F - wurde von der Fa. Novel, München, nach einem Patent von Nicol und Hennig (1976 [31]) entwickelt.

Die Anlage setzt sich zusammen aus

- Meßplattform
- Computer (Meßelektronik)
- Bildschirm
- Eingabetastatur
- Diskettenlaufwerk
- Farbdrucker

Abb. 6 Emed-F, apparative Ausstattung



Wesentliches Bauprinzip des Meßaufnehmers sind sich kreuzende Leiterbahnen. Die Schnittpunkte entsprechen kleinen Kondensatoren. Eine 33 x 19 cm große, in die Meßplattform integrierte, Kunststoffmatte ist mit 2 solcher Sensoren pro cm^2 bestückt.

Die durch Druckbelastung veränderten Plattenabstände oder Kapazitäten werden als elektrische Signale von einem Mikrosprozessorsystem 20 X pro Sekunde abgefragt und ausgewertet.

Durch die hohe örtliche und zeitliche Auflösung ist eine genaue Analyse der Druckverteilungssituation während eines Abrollvorgangs möglich.

Nach der Messung stellt sich auf dem Monitor das sogenannte Maximaldruckbild dar. Innerhalb der belasteten Fläche (entspricht formgenau dem Fußabdruck) ist 7-fach farblich abgestuft, die während des Abrollvorgangs pro Sensor gemessene Höchstbelastung (N/cm^2) wiedergegeben. Zeitabhängig als Kurven aufgezeichnet erscheinen, ebenfalls farblich differenziert, die Verläufe der Maximalbelastung, der wirksamen Vertikalkraft (Gesamtbelastung) und der Fläche.

Numerisch angegeben sind:

- P_{max} (N/cm^2), der höchste gemessene Druckwert mit Koordinaten
- F (N), die Gesamtkraft
- A (cm^2), die Auftrittsfläche
- gegebenenfalls F und A in prozentualen Anteilen am Referenzwert (nach vorangegangener Messung im Ein-Bein-Stand).

Über die Tastatur können zusätzliche Informationen eingegeben sowie die Speicherung der Messung auf Floppy-disc veranlaßt werden.

An weiteren Auswertungsmöglichkeiten bietet die Software:

- Dreidimensionale Darstellung der Maximaldrucksituation unter der Fußsohle
- Quantitative Angabe der Maximaldruckwerte pro Sensor
- Analyse der Belastung unter zu wählenden Fußabschnitten - sowohl numerisch wie auch in Zeitverlaufskurven.

Sämtliche Diagramme können ausgedruckt werden.

Gemessen wird während eines normalen Gehvorgangs. Dazu ist die Meßplattform in einen 5 m langen Laufsteg eingelassen. An seiner Längsseite befindet sich eine Skala auf der, bei exakt durchgeführter Messung, die individuelle Schrittweite abgelesen werden kann. Verbunden mit dieser Skala ist ein verstellbarer Startschieber. Ein roter Strich markiert darauf die Längsachse der Geh- und Meßstrecke.

Abb. 7 Maximaldruckbild mit Verlaufskurven von P_{max} , F und A (Fläche)

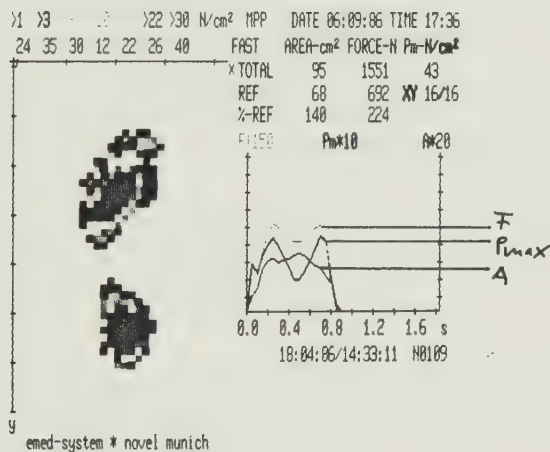
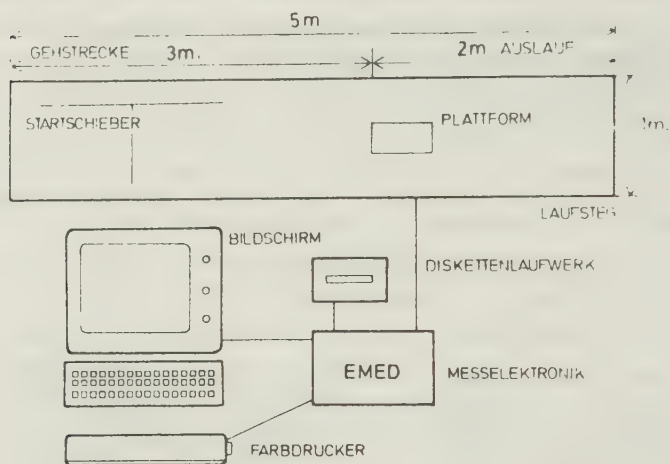


Abb. 8 Schema der Meßanordnung mit Laufsteg
(mit freundlicher Genehmigung von Dr. P. Schaff)



5.2 Versuchsdurchführung

5.2.1 Pedographische Messung

Die Messung wurde barfuß durchgeführt, wobei der Fuß lediglich durch leichte Plastiküberschuhe geschützt wurde. Diese aus hygienischen Gründen getroffene Maßnahme beeinflusst die Ergebnisse nicht.

Vor jeder dynamischen Messung wurde zunächst eine statische Messung durchgeführt. Entsprach die Anzeige für die Gesamtkraft (F) $\pm 10\%$ des Körpergewichts des Probanden, wurde sie als Referenz gespeichert.

Die Bemühungen um eine weitgehende Standardisierung der dynamischen Messung führten zu folgendem Versuchsablauf (vgl. Schaff et al. [34]): Während eines normalen Gehvorgangs sollte der Proband "zufällig" mit dem vierten Schritt das Zentrum der Maßplattform treffen. Zum Start wurde der Proband so platziert, daß die große Zehe des zu messenden Fußes auf die rote Markierung am Startschieber zeigte. Die Schrittfolge wurde mit dem nicht zu messenden Fuß eingeleitet. Nach einigen Probeläufen, unter entsprechenden Korrekturen am Startschieber, gelang es dem Probanden, die Meßplattform exakt zu passieren. Diese Messung wurde gespeichert.

Die Messungen wurden sowohl für den rechten als auch den linken Fuß durchgeführt.

An Informationen wurden jeweils eingegeben und mit der Messung gespeichert: Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht sowie Fußlänge, Fußbreite und Schrittweite.

Bei einem Teil des Patientenkollektivs wurde der Abrollvorgang zum Zeitpunkt der Messung mit einer Videokamera gefilmt.

Zur Reproduzierbarkeit des Meßsystems wurde von Schaff et al. (1987 [34]) eine Abhängigkeit insbesondere von der Geschwindigkeit des Abrollvorgangs und der Schrittweite festgestellt.

5.2.2 Klinische Untersuchung

Der pedographischen Messung vorangestellt war eine klinische Untersuchung und Anamneseerhebung.

Zunächst wurden die persönlichen Daten - Name, Geburtsdatum, Größe, Gewicht - festgehalten.

In einer ausführlichen Anamnese gaben die Patienten Auskunft über Krankheitsverlauf, Gelenkbefallsmuster und die angewandte Therapie. Besonderer Wert wurde auf das subjektive Beschwerdebild beim Gehen gelegt.

Möglicherweise interferierende Nebenergebnisse wurden gezielt abgefragt: Diabetes mellitus (Polyneuropathie), Durchblutungsstörungen, vorangegangene Operationen im Beinbereich, Arthrosen und weitere orthopädische Diagnosen (z.B. Meniskusschäden).

Nach der Erhebung des Pulsstatus wurden Füße und Gelenke einer genauen Inspektion unterzogen. Die gefundenen Fußdeformitäten (z.B. Hallux valgus, Hammerzehen) sowie Verschielungen, Bursitiden und Gelenkschwellungen wurden beschrieben und photographisch dokumentiert.

Sodann erfolgte eine Vermessung der Füße nach Länge und Breite. Anschließend wurde eine Funktionsprüfung der Gelenke durchgeführt: Zehengrundgelenke, Sprunggelenk und Kniegelenk wurden im wesentlichen auf Einschränkungen in Flexion und Extension hin getestet.

Aktuelle Röntgenbilder ergänzten schließlich entscheidend die Bestandsaufnahme.

5.3 Beschreibung der Kollektive

Im Interesse eines klaren Bildes und möglichst unverfälschter Ergebnisse wurden nur nicht voroperierte, noch relativ gut gehfähige Patienten bis zu maximal 60 Jahren mit aktiver rheumatoider Arthritis in der Auswertung berücksichtigt. Auch Patienten mit möglicherweise interferierenden Nebenbefunden wie zum Beispiel Diabetes mellitus, Arthrosen oder Baker-Zyste wurden ausgesondert.

Innerhalb des so verbleibenden Patientenkollektivs ($n = 32$) wurde nach Geschlecht, Alter und Gewicht differenziert. Es entstanden folgende Teilkollektive:

- normalgewichtige Frauen zwischen 40 und 60 Jahren (s. Tab. 2): $n = 16$
- übergewichtige Frauen zwischen 40 und 60 Jahren ($\bar{x}$ 48,3; $\bar{x}$ Gewicht 76 kg): $n = 7$
- normalgewichtige Frauen um 30 Jahre ($\bar{x}$ 32,3; $\bar{x}$ Gewicht 55,3 kg): $n = 3$
- Männer zwischen 28 und 56 Jahren ($\bar{x}$ 47,2; $\bar{x}$ Gewicht 76,7 kg): $n = 6$

Eine weitere - die entscheidende - Klassifizierung orientierte sich am Erscheinungsbild der Krankheit an der unteren Extremität.

In der Regel fand sich eine gute Übereinstimmung der Röntgenbilder mit dem klinischen Untersuchungsbefund und den subjektiven Beschwerden der Patienten. Daneben ist die individuelle Schmerzhaftigkeit eines Abrollvorgangs ein wichtiges Kriterium.

Es sollte jedoch einer objektiven Untersuchungsgrundlage der Vorzug gegeben werden, so daß eine Einteilung des cP-Kollektivs in 4 Gruppen im wesentlichen nach Röntgenbefund erfolgte.

Auf Grund variierender Befallsmuster im Rechts-Links-Vergleich mußten in knapp 20 % der Fälle Füße bzw. Extremitäten getrennt betrachtet werden.

Gegenstand des Vergleichs von Abrollverhalten bzw. dynamischer Druckverteilungssituation waren somit:

- Füße bei Vorfußbefall entsprechend den Stadien I - II nach Steinbrocker (insgesamt: $n = 21$)
- Füße bei Vorfußbefall entsprechend den Stadien III - IV ($n=13$)
- Füße, bei denen eine Sprunggelenkbeteiligung im Vordergrund stand ($n = 13$)
- Füße von Patienten mit zusätzlichem ausgeprägten Kniegelenkbefall ($n = 17$)

Die vierte Gruppe rekrutiert sich im wesentlichen aus Patienten mit einer Erkrankungsdauer von 10 Jahren und mehr, die gleichzeitig eine Sprunggelenkbeteiligung und vor allem auch zum Teil erhebliche Vorfußdeformitäten aufweisen: 90 % zeigen einen Vorfußbefall II. - III. Grades.

Die Hüftgelenke waren in keinem der Fälle betroffen.

Für undifferenzierte Vergleiche (z.B. Eckdaten, Verlaufskurven) steht den insgesamt 32 cP-Patienten ein Normalkollektiv von 17 Frauen und 6 Männern gegenüber ($\bar{x}_{\text{Alter}}$: 47,6 bzw. 43,4; $\bar{x}_{\text{Gewicht}}$ 65,6 bzw. 65,3 kg).

Innerhalb des Patientenkollektivs zeigt das Teilkollektiv der 40 - 60jährigen, normalgewichtigen Frauen große Homogenität. Hinsichtlich der Klassifizierung nach Gelenkmanifestationen findet sich hier für jede Gruppe ein ausreichender Stichprobenumfang. Daher steht dieses Teilkollektiv exemplarisch im Mittelpunkt der Auswertung. Es unterteilt sich in

- Füße bei Vorfußbefall (VF) I - II zu $n = 8$
- Füße bei Vorfußbefall (VF) III - IV zu $n = 8$
- Füße bei Sprunggelenkbefall (SG) zu $n = 7$
- Füße bei Kniegelenkbefall (KG) zu $n = 9$

Den Vergleich mit einem gesunden Gelenkstatus ermöglicht ein alters- und gewichtsmäßig übereinstimmendes Normalkollektiv von 11 Frauen (s. Tab. 2). Bei den Probanden des Normalkollektivs wurde absolute orthopädische Fußgesundheit nicht voraus-

gesetzt. Es sollten bewußt "Durchschnittsfüße" zum Vergleich herangezogen werden. Entsprechend findet sich häufig ein Spreizfuß (bis zu 70 %). Fälle von ausgeprägteren Fußdeformationen oder Bewegungseinschränkungen wurden ausgeschlossen.

In Relation zu diesem Frauenkollektiv werden die übrigen Teilkollektive betrachtet. Den 30jährigen Patientinnen (Vorfußbefall) steht dabei ein gematchtes Normalkollektiv ($n = 3$) gegenüber; innerhalb der Teilkollektive "Männer" und "übergewichtige Frauen" wird die Druckverteilungssituation bei unterschiedlicher Krankheitsausprägung verglichen.

Tab. 2: Charakterisierung der zu vergleichenden Kollektive 40 - 60jähriger cP-Patientinnen (cPK) und Normalpersonen (NK).

($\bar{x}$ = Mittelwert, s = Standardabweichung)

	n	Alter		Gewicht (kg)	
		$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
cPK	16	49	(6,3)	59	(6,9)
NK	11	48	(3,6)	59	(5,6)

5.4. Meßgrößen und Modalitäten der Auswertung

Das Emed-Programm liefert eine Vielzahl an Parametern. Im Hinblick auf eine auch im Klinik- und Praxisalltag praktikable Auswertung mußte eine Auswahl getroffen werden.

Schnell verfügbar und von wesentlicher Aussagekraft sind:

- das Maximaldruckbild, eine nach Farben abgestufte graphische Darstellung der pro Sensor aufgetretenen maximalen Druckwerte,
- die Verlaufskurven von Maximaldruckbelastung ($P_{\max}$) und Vertikalkraft (F), registriert über die Dauer eines Abrollvorgangs,
- das Analysendiagramm für ausgewählte Fußabschnitte und die Meßgrößen $P_{\max}$ und F % Körpergewicht.

Letztgenanntes Analysendiagramm steht im Mittelpunkt der Auswertung, da es eine differenzierte Beurteilung der Fußbelastungssituation erlaubt. Am Computerbild (MPP) wurde der Fuß mittels Cursor in 7 (8) Abschnitte aufgeteilt:

Der Zehenbereich gliedert sich in

- Großzehe
- Zehen 2 - 5;

der Ballenbereich wurde sowohl als Gesamtheit wie auch gedrittelt betrachtet, entsprechend den Metatarsalia

- Met. I
- Met. II/III
- Met. IV/V;

weitere Abschnitte sind

- Mittelfuß
- Ferse

Aus Standardisierungsgründen erfolgte diese Einteilung nach geometrischen Gesichtspunkten: Nach Abgrenzung der Zehen wurden Restfuß bzw. Metatarsalbereich jeweils in 3 gleiche Teile "geschnitten" (siehe auch Abb. 9).

Das Analysendiagramm gibt die unter jedem Abschnitt gemessenen Belastungswerte wieder. Die diesbezüglich in der Auswertung vergleichend betrachteten Meßgrößen sollen hier noch einmal erläutert werden:

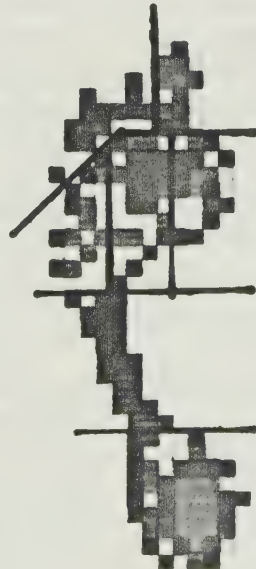
- $P_{\max}$ (N/cm^2), die Maximaldruckbelastung, beschreibt die während des Abrollvorgangs unter dem jeweiligen Fußabschnitt aufgetretenen Druckspitzen;
- $F \%$ KG, die Vertikalkraft in Relation zum Körpergewicht, errechnet sich aus F (N) und dem bei der statischen Messung gewonnenen Referenzwert.

$P_{\max}$ und F werden zudem auch hier zeitabhängig in Kurven umgesetzt. Hieraus lassen sich die Kontaktzeiten der jeweiligen Fußabschnitte während des Abrollvorgangs ersehen. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden diese umgerechnet in prozentuale Anteile an der gesamten Abrolldauer (gewählt wurde dazu die F -Kurve).

Abb. 9

Beispiel:

Einteilung des Fußes für eine differenzierte Analyse der Druckverteilungssituation



5.5 Statistische Ausarbeitung [15, 33]

Im Rahmen der statistischen Auswertung kamen folgende Verfahren zur Anwendung:

- der Mittelwertvergleich (mit Bestimmung der Standardabweichung)
- der H-Test nach Kruskal und Wallis (Varianzanalyse)
- multiple Tests nach Nemenyi

Die beiden letztgenannten Verfahren sind Rangtests und eignen sich anerkanntermaßen besonders für kleine Stichprobenumfänge.

Eine Prüfung auf statistische Signifikanz wurde damit für das im Mittelpunkt stehende Kollektiv der ca. 50jährigen Frauen durchgeführt.

Mit den Ergebnissen dieses Kollektivs werden die entsprechenden Mittelwerte der übrigen Teilkollektive verglichen. Auch für die Gegenüberstellung der Gesamtkollektive cP-Patienten - Vergleichspersonen wurde aus den betreffenden Daten jeweils der Mittelwert errechnet.

Eine einfache Methode, die Tendenzen in der Merkmalsausprägung sichtbar werden läßt, ist der Mittelwertvergleich.

Für n Stichproben einer Beobachtungsreihe lautet die Formel für das arithmetische Mittel $\bar{x}$:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

- das heißt, man dividiert die Summe der Einzelwerte (x_i) durch deren Anzahl (n).

Die Streuung der Einzelwerte um den Mittelwert beschreibt die Standardabweichung s . Sie ist die Wurzel aus der Varianz s^2 einer Beobachtungsreihe und errechnet sich wie folgt:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Die Varianz s^2 ist definiert als die quadrierte Summe der Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert, dividiert durch deren um 1 verminderte Anzahl.

Der Vergleich der 5 Teilkollektive 50jähriger, normalgewichtiger Frauen wurde zunächst mit einer Varianzanalyse, dem H-Test nach Kruskal und Wallis, auf signifikante Unterschiede hin geprüft.

Der Test operiert mit Rangsummen; auf die Annahme einer Normalverteilung konnte verzichtet werden. Dabei wird mit ca. 95 % noch eine hohe asymptotische Effizienz erreicht.

Die Nullhypothese (H_0) lautet: Die Mittelwerte der zu vergleichenden Meßreihen divergieren nicht.

Die Alternativhypothese (H_1) postuliert einen Unterschied.

Die Gesamtheit der Meßwerte aller k Beobachtungsreihen ($n = \sum_{i=1}^n n_i$) wird zunächst der Größe nach geordnet und mit Rängen (= Ordnungszahlen) versehen. Für jede Beobachtungsreihe wird die Rangsumme (R_i) quadriert und durch den jeweiligen Stichprobenumfang dividiert. Die gefundenen Werte aller k Beobachtungsreihen werden addiert

$$\left(\sum_{i=1}^n \frac{R_i^2}{n_i} \right)$$

Die Prüfgröße $\hat{H}$, die der Varianz der Stichprobenrangsummen R_i entspricht, errechnet sich dann wie folgt:

$$\hat{H} = \left[\frac{12}{n(n+1)} \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right] - 3(n+1)$$

Dabei gilt: Für $n_i \geq 5$ und $k \geq 4$ ist Π unter der Nullhypothese χ^2 -verteilt mit $k-1$ Freiheitsgraden.

H_0 wird abgelehnt, sobald

$$\Pi > \chi^2_{k-1; \alpha}$$

Fand sich in der Varianzanalyse für eine Variable ein signifikanter Unterschied, wurde mit multiplen Vergleichen weitergetestet, um herauszufinden, welche Mittelwerte sich paarweise unterscheiden.

Dazu wurde ein von Nemenyi vorgeschlagener Rangtest für nicht normalverteilte Daten angewendet:

Den n Meßwerten der k Beobachtungsreihen werden Ränge zugeordnet. Im Falle ungleicher Stichprobenumfänge (hier gegeben), werden die Stichprobenrangsummen ($R_1, R_1, \dots$) durch den jeweiligen Stichprobenumfang ($n_1, n_1, \dots$) geteilt. Die gefundenen Rangmittel werden zu allen möglichen absoluten Differenzen kombiniert. Der jeweils resultierende Betrag wird dann zu einem entsprechenden kritischen Wert in Beziehung gesetzt.

Ein signifikanter Unterschied zwischen 2 Meßreihen gilt als nachgewiesen, sobald

$$\left| \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_{i'}}{n_{i'}} \right| > \sqrt{\chi^2_{k-1; \alpha} \left[\frac{n(n+1)}{12} \right] \left[\frac{n_i + n_{i'}}{n_i \cdot n_{i'}} \right]}$$

Für die Variable "Ballenbereich - F % Körpergewicht" ergaben sich z.B. die folgenden Beträge ($\left| \frac{R_i}{n_i} - \frac{R_1}{n_1} \right|$):

Tab. 3:

	NK	VF I-II	VF III-IV	SG
VF I-II	12,3			
VF III-IV	3,1	9,2		
SG	27,9**	15,6	24,8*	
KG	28,2**	15,9	25,1*	0,3

** charakterisieren die gefundenen signifikanten Unterschiede

(* : $\alpha = 0,05$; ** $\alpha = 0,01$)

5.6 Ergebnisse

In einem undifferenzierten Vergleich zwischen cP-Kollektiv allgemein und Vergleichspersonen werden zunächst die gefundenen Unterschiede von Maximaldruckbild und Verlaufskurven beschrieben.

Die Ergebnisse hinsichtlich der Druckverteilungssituation bei differierendem Gelenkbefall werden dann insbesondere für das Teilkollektiv der normalgewichtigen Frauen um 50 Jahre explizit dargestellt. Hier wurde auch eine Prüfung auf statistische Signifikanz durchgeführt.

5.6.1 Maximaldruckbild und Kraftverlaufskurven

Im Vergleich einiger Eckdaten zeigen sich geringe, jedoch für das Gehverhalten der Patienten typische Unterschiede. So ist die Schrittweite der Patienten mit 55,9 cm gegenüber 58,8 cm beim Normalkollektiv im Mittel kürzer. Auch hinsichtlich der während des Abrollvorgangs errechneten maximalen Summenbelastung (F Total) besteht eine Diskrepanz: für das cP-Kollektiv errechnet sich ein Mittelwert von 188,5 %, bei den Vergleichspersonen sind es 217 % Körpergewicht. Die Abrolldauer bewegt sich bei beiden Kollektiven eng um 0,8 Sekunden.

Maximaldruckbild

Schon aus der Kontur des abgebildeten Fußabdrucks lassen sich Fußdeformitäten erkennen:

Ein Hallux valgus, zum Teil hohen Grades, gehört in der Regel zum Erscheinungsbild des rheumatischen Fußes. Auch der Mittelfußbereich stellt sich beim cP-Kollektiv häufiger verbreitert dar. Einen ausgeprägten Spreizfuß, charakterisiert durch eine hohe Belastung im mittleren Ballenbereich bei geringer Belastung von Metatarsale I und (IV)/V, weist auch das Normalkollektiv zu fast 70 % auf.

Stellen verstärkter Hornhautbildung korrelieren mit auffällig druckbelasteten Arealen.

Beim cP-Kollektiv fällt vor allem die unvollständige Abbildung der Zehen in Abhängigkeit von der Ausprägung des Vorfußbefalls auf (s. Abb. 10 und 11). Ist eine Zehenfunktion noch meßbar, so liegen die Druckwerte im Vergleich der farblichen Abstufung bei den Vorfußkollektiven niedriger als beim Normalkollektiv. Hingegen erscheinen die Großzehen bei Patienten mit Sprung- und Kniegelenkbeteiligung wieder stärker belastet.

Abb. 10 und 11

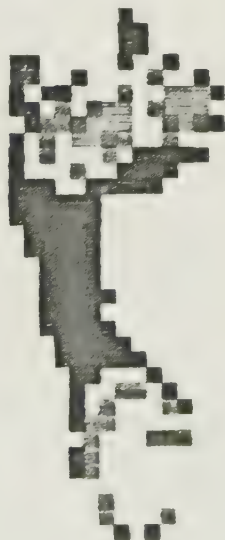
Fußabdruck im MPP einer Vergleichsperson (Abb. 10) im Unterschied zu dem einer cP-Patientin (Abb. 11).

Bei der Patientin sind röntgenologisch ausgeprägte Usuren und Subluxationen an den Zehen II - IV nachgewiesen.

Abb. 10



Abb. 11



Kraftverlaufskurve

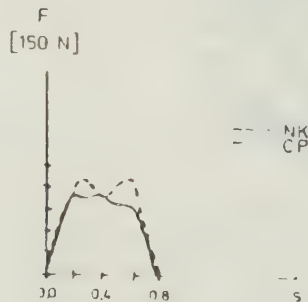
Der zeitabhängige Verlauf der Vertikalkraft im Idealfall wurde bereits in Abschnitt 3.2.2 beschrieben.

Abweichungen davon finden sich auch bei "Normalpersonen", insbesondere in Relation zu Alter, Gehgeschwindigkeit und Dauer des Abrollvorgangs.

Gegenüber den Werten des Vergleichskollektivs läßt sich bei den cP-Patienten eine Reduktion der Peaks (= höchste Ausschläge) um bis zu 15 % feststellen. Die Erniedrigung des zweiten Maximums im Vergleich zum ersten ist mit durchschnittlich 13 % stärker ausgeprägt (10 % beim Normalkollektiv). Bei schwerem Vorfußbefall z.B. erreichen die Maxima im Mittel Werte von 650 bzw. 570 N. Das dazwischenliegende Minimum präsentiert sich gegenüber "Normalpersonen" um ca. 10% erhöht. In Abhängigkeit von der Schwere des Krankheitsbildes kann es zu einer vollständigen Nivellierung kommen.

Abb. 12

Kraftverlaufskurve im Vergleich zwischen einer Normalperson und einer cP-Patientin. Alter, Gewicht und Schrittweite stimmen überein, ebenso die Dauer des Abrollvorgangs.



Maximaldruckkurve

Die Maximaldruckkurve erreicht beim Normalkollektiv im Idealfall ebenfalls zwei etwa gleich hohe Maxima von ca. 40 N/cm^2 . Im Vergleich zum Normalkollektiv ist das erste Maximum beim cP-Kollektiv im Schnitt 35 % niedriger.

Auffällig bei den cP-Patienten ist vor allem der steile Anstieg der Kurve zu einem zweiten Maximum, das 2-3 fach höhere Werte als das erste erreicht.

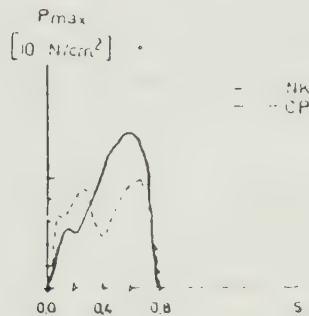
Setzt man die in mm ausgemessenen absoluten Höhen der beiden Maxima in Relation zueinander (2. Max.: 1 Max.), so errechnet sich beim cP-Kollektiv insgesamt im Mittel ein Quotient von 2,13.

22 % der Fälle liefern Werte von über 3, wobei Spitzenbelastungen von $80 - 100 \text{ N/cm}^2$ erreicht werden.

Beim Normalkollektiv beträgt der entsprechende Mittelwert 1,42; lediglich 8 % des Kollektivs erreichen Werte über 2. Spitzenbelastungen liegen um 60 N/cm^2 .

Abb. 13

Maximaldruckkurven im Vergleich derselben Personen wie in Abb. 12.



5.6.2 Quantitative Analyse der Druckverteilung unter einzelnen Fußabschnitten

- Differenzierung eines unterschiedlichen Gelenkbefalls

5.6.2.1 Teilkollektiv der ca. 50jährigen, normalgewichtigen Frauen

Eine exemplarische Darstellung der Ergebnisse erlaubt das zahlenmäßig größte und sehr homogene Patientenkollektiv der normalgewichtigen Frauen zwischen 40 und 60 Jahren (vgl. 5.3).

Die Tab. 5 und 6 zeigen eine Gegenüberstellung der Mittelwerte für die 4 Patientengruppen mit unterschiedlichem Gelenkbefallsmuster und das Normalkollektiv.

Für jeden Fußabschnitt wurden die Werte bezüglich der Meßgrößen $P_{\max}$ und F % Körpergewicht gemittelt und von Kollektiv zu Kollektiv auf statistisch signifikante Unterschiede geprüft (vgl. 5.5). Die in der Varianzanalyse gefundenen, zur Differenzierung geeigneten Fußabschnitte bzw. Meßgrößen sind zahlreich (Tab. 4). In den weniger sensitiven multiplen Tests konnte dieses Ergebnis jedoch nur zum Teil durch entsprechende Signifikanzen bestätigt werden.

Tab. 4 Ergebnis der Varianzanalyse

Bezüglich der Meßgrößen $P_{\max}$ und F % Körpergewicht wurde jede Variable (= Fußabschnitt) auf signifikante Unterschiede zwischen den 5 Teilkollektiven (VF I-II, VF III-IV, SG, KG, NK) geprüft

(*: $\alpha = 0,05$, **: $\alpha = 0,01$, ***: $\alpha = 0,001$)

	$P_{\max}$	F (% Körpergewicht)
Großzehe	**	**
Zehen 2-5	/	***
Ballen, gesamt	*	***
Met. I	/	/
Met. II/III	**	***
Met. IV/V	/	/
Mittelfuß	/	**
Ferse	**	*

Tab. 5 und 6

Normalkollektiv und Patientenkollektive mit unterschiedlichen Gelenkmanifestationen im Vergleich. Dargestellt sind jeweils die Mittelwerte für Pmax = maximal aufgetretene Druckbelastung und F % KG = Vertikalkraft in Relation zum Körpergewicht.

** geben das Signifikanzniveau im Vergleich zum Normalkollektiv an (*: $\alpha = 0,05$; **: $\alpha = 0,01$; multiple Tests nach Nemenyi)

Tab. 5	$P_{\max}$ (N/cm ²)				
	Vorfuß I-II	Vorfuß III-IV	Sprunggelenk	Kniegelenk	Normal- kollektiv
	n=8	n=8	n=7	n=9	n=22
Großzehe	20,0	13,9	36,7	41,8	29,2
Zehen ₂₋₅	11,4	9,8	11,6	12,0	13,3
ges. Ballenbereich	43,3	58,1	28,7	37,9	43,9
Metatarsale I	29,5	33,9	21,7	14,6	27,1
Met. II/III	30,0	55,5	20,6**	37,9	40,6
Met. IV/V	20,4	30,9	18,7	23,4	21,2
Mittelfuß	8,8	9,9	8,4	9,0	7,1
Ferse	24,6	21,0*	21,7	21,3*	35,1

Tab. 6	F (% Körpergewicht)				
	Vorfuß I-II	Vorfuß III-IV	Sprunggelenk	Kniegelenk	Normal- kollektiv
	n=8	n=8	n=7	n=9	n=22
Großzehe	12,8	7,9	15,1	21,1	14,8
Zehen ₂₋₅	7,1	2,6**	8,1	5,2	8,7
ges. Ballenbereich	86,5	93,3	72,0**	74,3**	95,7
Metatarsale I	26,3	27,1	23,9	17,4	25,0
Met. II/III	39,9	46,1	31,7**	38,7*	53,0
Met. IV/V	20,4	20,0	16,4	18,2	17,7
Mittelfuß	19,8	23,1	21,7	20,2	12,0
Ferse	69,1	61,3*	72,3	63,3	81,3

Der Mittelwertvergleich ergibt:

Je nach Gelenkmanifestation lassen sich charakteristische Tendenzen in der Druckverteilung erkennen, wobei sich beide Meßgrößen in der Regel gleichsinnig verhalten.

- Vergleich mit dem Normalkollektiv

Bei den Vorfußkollektiven läßt sich eine in Abhängigkeit vom Schweregrad der Erkrankung abgestufte Minderbelastung des Zehenbereichs feststellen.

Beim Vorfuß III - IV-Kollektiv schließlich sind Vertikalkraft und Maximaldruckwert unter der Großzehe im Mittel auf ca. 50 % erniedrigt (7,9 % Körpergewicht bzw. $13,9 \text{ N/cm}^2$), unter dem Abschnitt "Zehen₂₋₅" sogar auf 30 % hinsichtlich F (2,6 % KG).

Erhöhte Maximaldruckwerte treten in allen Teilbereichen des Ballens auf ($\bar{x}$: $58,1 \text{ N/cm}^2$); besonders die zentralen und lateralen Metatarsalia erscheinen dabei am stärksten belastet.

Im Gegensatz dazu läßt sich beim VF I-II-Kollektiv eher eine Tendenz zur Entlastung des mittleren Ballenbereichs beobachten.

Sprung- und Kniegelenk-Kollektiv (SG und KG) zeigen ein im Prinzip gleichartiges Verteilungsmuster, das sich jedoch von Fall zu Fall für gewisse Parameter besonders ausgeprägt darstellt. So liegt die bei beiden Teilkollektiven erhöhte Großzehebelastung beim KG-Kollektiv mit ca. 45 % besonders deutlich über den Werten des Vergleichskollektivs (P_{max} : $41,8 \text{ N/cm}^2$; F: 21,1 % Körpergewicht). Es werden Spitzenwerte von 50 - 60 N/cm^2 erreicht, vergleichbar denen junger Normalpersonen.

Die gemessene Vertikalkraft im gesamten sowie im mittleren Ballenbereich ist in beiden Fällen hochsignifikant reduziert.

Bei Sprunggelenkbefall liegen auch die maximalen Druckwerte unter den zentralen Metatarsalia ca. 50 % niedriger ($\bar{x}$: $20,6 \text{ N/cm}^2$).

Im Vergleich stärker entlastet erscheint dagegen Metatarsale I bei den Kniepatienten.

Alle Patientenkollektive zeigen eine Zunahme der Druckbelastung des Mittelfußbereichs neben einer für die schwer betroffenen cP-Kollektive (VF III - IV und KG) signifikant reduzierten Fersenbelastung um 25 bzw. 40 % für F bzw. Pmax. In diesen Fällen bewegen sich die gemessenen Werte um 21 N/cm^2 bzw. 62 % Körpergewicht (F).

Auch in der Maximaldruckkurve kommen die beschriebenen Belastungsverschiebungen zum Ausdruck. Das erniedrigte erste Maximum entspricht dem verminderten Fersen- oder Auftreffimpuls. Das zweite Maximum charakterisiert die Abstoßphase. Während hierbei bei VF- und Normalkollektiv im Metatarsalbereich die höchsten Druckwerte gemessen werden, muß das 2. Maximum für SG- und KG-Kollektiv häufig der maximalen Zehenbelastung zugeordnet werden.

Der Quotient aus den beiden Maxima unterscheidet sich, je nach Typ und Ausprägungsgrad des Gelenkbefalls, deutlich bis hochsignifikant vom Normalkollektiv (s. Tab. 7).

Tab.7

Auswertung der Maximaldruckkurve

Die absoluten Höhen der beiden Maxima wurden in mm ausgemessen und in Relation gesetzt. Angegeben sind Mittelwert und Signifikanzniveau (*: $\alpha = 0,05$, **: $\alpha = 0,01$, multiple Tests)

	Vorfuß I-II n = 8	Vorfuß III-IV n = 8	Sprunggelenk n = 7	Kniegelenk n = 9	Normal- kollektiv n = 22
1. Maximum	10,5	8,6*	9,4	9,0*	14,6
2. Maximum	18,2	24,1	16,6	19,9	19,2
Quotient	1,8	3,1**	1,9	2,4*	1,4
(2. Max. : 1. Max.)					

- Unterschiede im Vergleich der Patientenkollektive bei differierendem Gelenkbefall

Wie bereits beschrieben, gleichen sich Vorfuß-Kollektive einerseits und Sprung-/Kniegelenk-Kollektive andererseits jeweils in der Konstellation ihrer im Vergleich zum Normalkollektiv veränderten Druckverteilungssituation. Die innerhalb dieser Patientengruppen gegebenenfalls Unterschiede im Ausprägungsgrad der Erkrankung wirken sich auf das Ausmaß der gefundenen Abweichungen aus, nicht jedoch auf deren Richtung. (Ausnahme: $F_{\text{Ballenbereich}}$ bei den Vorfußkollektiven)

Gegensätzlich sind die Tendenzen im Vergleich VF-Kollektive - SG/KG-Kollektive für die Belastungssituation unter Großzehen und Metatarsalbereich.

Besonders interessant erscheint der Vergleich zwischen Vorfuß III - IV und Kniegelenkkollektiv, die beide einen ähnlich ausgeprägten Vorfußbefall bei langer Krankheitsdauer aufweisen. Im einen Fall ändert sich jedoch durch die zusätzliche Knie(- und Sprung-)gelenkbeteiligung, die Druckverteilungssituation unter der Fußsohle grundlegend. Die für beide Meßgrößen signifikant höhere Großzehenbelastung des KG-Kollektivs korreliert dabei mit einem länger dauernden und früher einsetzenden Zehenkontakt während des Abrollvorgangs. Daneben lassen sich signifikant erniedrigte Druckwerte im Metatarsalbereich feststellen (s. Tab. 8).

Tab. 8

Zusammenfassung der signifikanten Unterschiede zwischen den Patientenkollektiven "Vorfuß III - IV" und "Kniegelenk"

(Signifikanzniveau: *: $\alpha = 0,05$; **: $\alpha = 0,01$; multiple Tests nach Nemenyi)

	VF III-IV	KG
Großzehenbelastung		
Pmax	13,9	41,8*
F % KG	7,9	21,1**
Ballenbelastung		
F % KG	93,3	74,3*
Beginn der Zehen-		
belastung (% Abrolldauer)	51,5	20,6**
Dauer der Zehen-		
belastung (% Abrolldauer)	46,7	79,4**

5.6.2.2 Ergebnisse der anderen Teilkollektive

Durch das Kollektiv der 30-jährigen Frauen wird die gefundene Druckverteilungssituation bei Vorfußbefall eindrucksvoll bestätigt (Tab. 9).

Da das Vergleichskollektiv hier absolut fußunauffällig ist (kein Spreizfuß) bewegen sich die Unterschiede in größeren Dimensionen.

Obwohl die Patientinnen einen überwiegend geringergradigen Vorfußbefall aufweisen (nur eine Patientin: VF III), sind Vertikalkraft und $P_{\max}$ sogar im Großzehenbereich auf 50 bzw. 40 % der Vergleichswerte (NK) erniedrigt. Die absoluten Werte entsprechen ziemlich genau denen des VF I-II Kollektivs der 40 - 60jährigen Frauen (20,7 bzw. 20 N/cm²; 13,3 bzw. 12,8 % KG).

Besonders deutlich stellt sich auch die Belastungsverschiebung von Metatarsale I auf die zentralen und lateralen Metatarsalköpfchen dar, bei insgesamt gering erhöhter Ballengesamtbelastung (mittlere $P_{\max}$ -Werte unter Met. II/III: 41,3 N/cm² gegenüber 21,2 beim Normalkollektiv). In Übereinstimmung mit dem eben beschriebenen Frauenkollektiv finden sich auch hier höhere Werte unter dem Mittelfußbereich bei verminderter Fersenbelastung.

Tab. 9 : Druckverteilungssituation beim Kollektiv der ca. 30jährigen, normalgewichtigen Patientinnen mit Vorfußbefall (Grad I-III) im Vergleich zu einem gematchten Normalkollektiv

	<u>P_{max}</u>				<u>F % Körpergewicht</u>			
	VF I-III		NK		VF I-III		NK	
	n = 6		n = 6		n = 6		n = 6	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Großzehe	20,7	(12,2)	52	(12,4)	13,3	(8,7)	27,7	(5,5)
Zehen ₂₋₅	16	(6,7)	17,7	(6,4)	7,2	(3,1)	13,3	(6,4)
Ballenber.	48,7	(12)	44,7	(7,9)	86,3	(13,5)	84	(9,3)
Met. I	20,5	(8,7)	40,2	(14,9)	23,3	(6,4)	30,2	(7,9)
Met.II/III	41,3	(19,9)	21,2	(5,9)	45,2	(8,6)	36	(7,4)
Met.IV/V	24,2	(11,9)	20,5	(10,3)	17,8	(5,5)	17,8	(4,2)
Mittelfuß	8,2	(2,2)	5,8	(2,4)	38,5	(26,2)	3,7	(2,2)
Ferse	25,5	(11,5)	30,2	(4,3)	61,5	(13,8)	84,5	(10,8)

Innerhalb der sehr kleinen Patiententeilkollektive "Männer" und "übergewichtige Frauen" (Daten siehe 5.3) differieren die Gelenkbefallsmuster stark.

Zum Zweck des Vergleichs mußten daher Vorfuß-Kollektive bzw. SG- und KG-Kollektive zusammengefaßt werden (- es fand sich eine im Prinzip gleichartige Druckverteilungssituation).

Aus der Gegenüberstellung in Tab. 10 ergibt sich:

Das Vorfußkollektiv der Männer zeigt außer der typischen Spreizfußkonstellation (Entlastung von Met. I zugunsten der zentralen und lateralen Metatarsalia) keine größeren Auffälligkeiten. Dies steht in Einklang mit dem wenig ausgeprägten Krankheitsbild (Grad 0 - II).

Bei den übergewichtigen Frauen weichen die gefundenen Werte von den Vergleichswerten des Kollektivs der ca. 50jährigen, normalgewichtigen Frauen lediglich hinsichtlich der Metatar-

salbelastung ab. Im Mittel errechnet sich für beide Meßgrößen eine etwas niedrigere Ballengesamtbelastung sowie deutlich reduzierte Druckspitzen unter Metatarsale I.

Gleichsinnig verhalten sich die SG/KG-Kollektive bei "Männern" und "übergewichtigen Frauen". Im Gegensatz zum Vergleichskollektiv (normalgew. ca. 50jährige Frauen) ist hier der Metatarsalbereich stärker durch hohe Druckspitzen belastet, die im wesentlichen unter Metatarsale I zu lokalisieren sind. Auch für die Vertikalkraft wurden hier im Mittel um bis zu 50 % höhere Werte gemessen. Ansonsten herrscht eine hohe Übereinstimmung mit den Ergebnissen bei den normalgewichtigen Patientinnen, insbesondere hinsichtlich der Belastung in den Bereichen "Großzehe" und "Met. II/III".

Bei allen Kollektiven läßt sich eine verminderte Fersenbelastung bei erhöhten Mittelfuß-Werten für beide Meßgrößen nachweisen.

Ergebnis des Vergleichs der verschiedenen Teilkollektive

Abgesehen von den widersprüchlichen Ergebnissen in bezug auf den Metatarsalbereich, kristallisieren sich doch einige, bei allen Teilkollektiven gleichermaßen typisch veränderte Parameter für verschiedene Formen des Gelenkbefalls heraus. In der Graphik (Abb. 14 und 15) sind diese für das nach Gelenkmanifestationstyp differenzierte Gesamtkollektiv dargestellt.

Wesentlich für eine Differenzierung nach Gelenkbefall sind also die veränderten Belastungssituationen unter folgenden Fußabschnitten:

- Großzehe
- Metatarsalia II/III

Zur Abrenzung gegenüber einem normalen Abrollvorgang kommen hinzu:

- Mittelfuß
- Ferse (Abb. 16)

Eine Korrelation von Belastung und Kontaktzeit eines Fußabschnitts während des Abrollvorgangs ist insbesondere für den Bereich "Zehen" gegeben.

Die Dauer der Ballenbelastung ist bei allen Patientenkollektiven geringfügig verlängert. Lediglich die Kniepatienten weisen einen deutlich verkürzten Fersenkontakt auf (Tab. 10).

Abb. 14 - 16 Belastungssituation unter den Fußabschnitten "Großzehe", "Metatarsalia II/III", "Ferse"

Gegenübergestellt sind Vergleichskollektiv und Patientenkollektive mit differierendem Befallsmuster. Aufgetragen wurden Mittelwert und Standardabweichung bezüglich der Meßgrößen P_{max} und $F \% \text{ Körpergewicht}$

Abb. 14

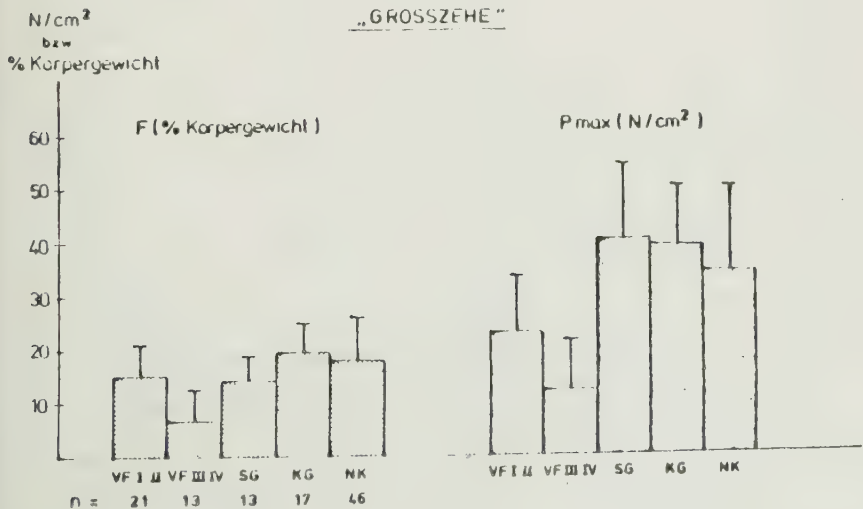


Abb. 15

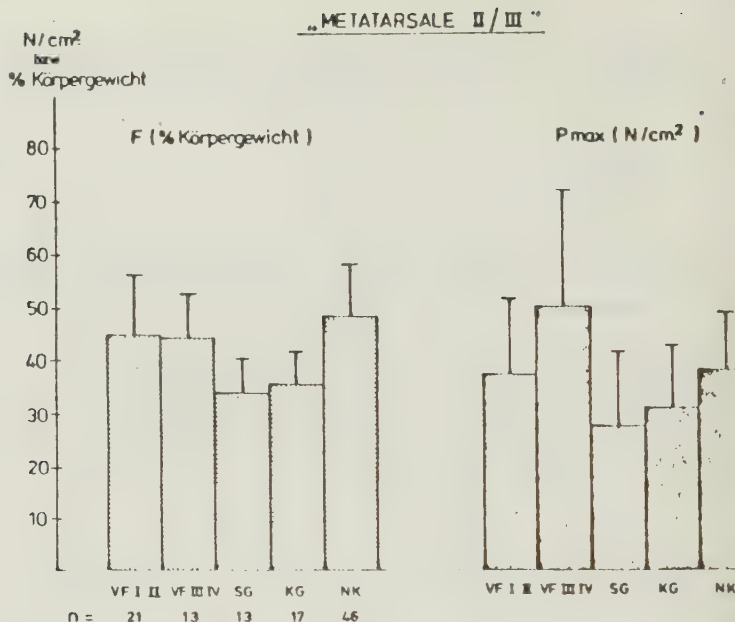
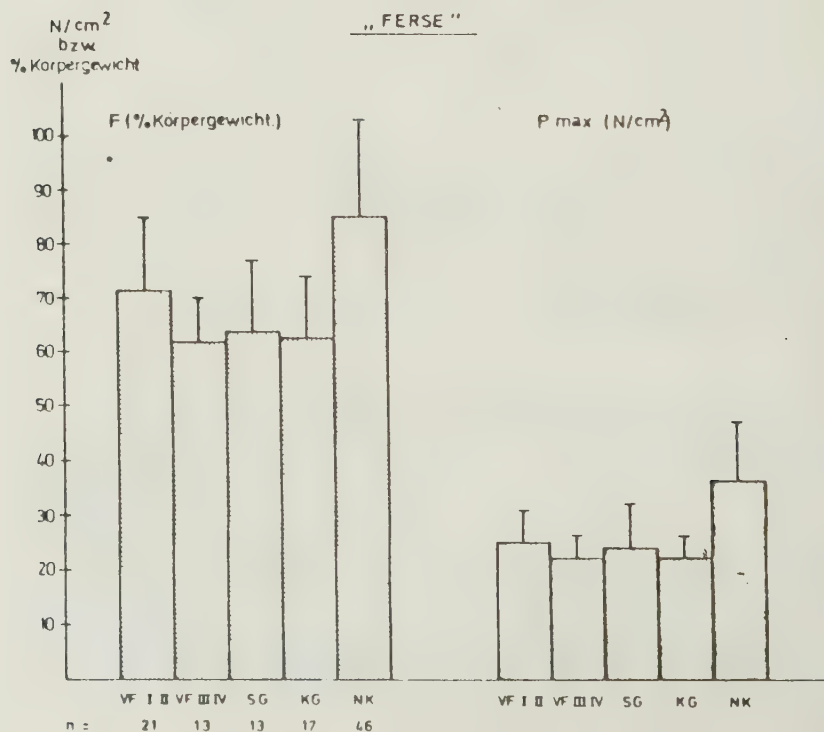


Abb. 16



Tab. 10 Kontaktzeit einzelner Fußabschnitte (§ Standphasendauer)

Vergleich von Normalkollektiv und Patientenkollektiven mit unterschiedlichem Gelenkbefall. Angegeben sind Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s)

	VF I - II		VF III - IV		SC		KG		NK	
	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
	n = 21		n = 13		n = 13		n = 17		n = 46	
Beginn Zehen-	29,3	(15,8)	47,06	(14,9)	27,6	(10,4)	28,8	(19,2)	33,7	(12,2)
kontakt										
Dauer Zehenk.	71,6	(15,6)	50,1	(23,6)	72,7	(10,6)	74,0	(15,6)	66	(12,5)
Dauer Ballenkont.	91,3	(4,5)	91,5	(4,0)	88,3	(6,5)	90	(3,5)	88	(4,8)
Dauer Fersenkont.	58,6	(11,3)	59,6	(9,7)	61,7	(14,8)	51,7	(10,3)	57,3	(9,3)

Tab.11 Gegenüberstellung der nach Geschlecht und Gewicht sowie grob nach Gelenkbefall differenzierten Patienten-Teilkollektive
 Angegeben sind jeweils Mittelwert ($\bar{x}$) und Standardabweichung (s) für die Meßgrößen P_{max} und F & Körpergewicht

	Frauen $\bar{x}_{Alter}$: 49 J.				Frauen $\bar{x}_{Alter}$: 48,3 J.				Männer $\bar{x}_{Alter}$: 47,2 J.			
	$\bar{x}_{Gewicht}$: 59 kg		$\bar{x}_{Gewicht}$: 76 kg		$\bar{x}_{Gewicht}$: 76 kg		$\bar{x}_{Gewicht}$: 76,7 kg		$\bar{x}_{Gewicht}$: 76,7 kg		$\bar{x}_{Gewicht}$: 76,7 kg	
	VT I-IV	SG/KG	VF I-III	SG/KG	VF I-III	SG/KG	VF O-II	SG/KG	VF O-II	SG/KG	VF O-II	SG/KG
	$\bar{n} = 16$	$n = 16$	$\bar{n} = 6$	$n = 8$	$\bar{n} = 6$	$n = 8$	$\bar{n} = 6$	$n = 6$	$\bar{n} = 6$	$n = 6$	$\bar{n} = 6$	$n = 6$
P_{max} (N/cm ²)	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s	$\bar{x}$	s
Großzehe	16,9 (10,8)	39,6 (13,7)	18,8 (11,8)	42,4 (23,1)	18,8 (11,8)	42,4 (23,1)	32,3 (19,6)	36,7 (14,9)	32,3 (19,6)	36,7 (14,9)	32,3 (19,6)	36,7 (14,9)
Zehen 2-5	10,6 (5,0)	11,8 (6,6)	7 (4,1)	12,9 (7,9)	7 (4,1)	12,9 (7,9)	13,8 (10,3)	21 (5,7)	13,8 (10,3)	21 (5,7)	13,8 (10,3)	21 (5,7)
Ballen ges.	50,7 (21,7)	33,8 (12,2)	41,7 (7,4)	53,4 (25,2)	41,7 (7,4)	53,4 (25,2)	43,8 (13,1)	42,5 (18,8)	43,8 (13,1)	42,5 (18,8)	43,8 (13,1)	42,5 (18,8)
Met. I	31,7 (20,9)	17,7 (8,4)	21,2 (4,8)	44,5 (32,2)	21,2 (4,8)	44,5 (32,2)	21,2 (8,1)	38,7 (21,2)	21,2 (8,1)	38,7 (21,2)	21,2 (8,1)	38,7 (21,2)
Met. II/III	42,8 (23,3)	30,3 (13,1)	41,7 (7,4)	31,4 (14,8)	41,7 (7,4)	31,4 (14,8)	41,8 (15,7)	24,8 (9,1)	41,8 (15,7)	24,8 (9,1)	41,8 (15,7)	24,8 (9,1)
Met. IV/V	25,6 (17,9)	21,4 (12,7)	20,5 (6,7)	19,8 (10,7)	20,5 (6,7)	19,8 (10,7)	30,7 (14,0)	18,2 (8,2)	30,7 (14,0)	18,2 (8,2)	30,7 (14,0)	18,2 (8,2)
Mittelfuß	9,3 (3,5)	8,8 (3,0)	11 (1,7)	14 (5,5)	11 (1,7)	14 (5,5)	12,5 (6,8)	11,5 (6,2)	12,5 (6,8)	11,5 (6,2)	12,5 (6,8)	11,5 (6,2)
Ferse	22,8 (5,7)	21,5 (5,6)	25,8 (5,2)	24,9 (8,7)	25,8 (5,2)	24,9 (8,7)	32,0 (13,3)	22,0 (3,7)	32,0 (13,3)	22,0 (3,7)	32,0 (13,3)	22,0 (3,7)
F & Körpergewicht												
Großzehe	10,3 (6,3)	18,5 (5,7)	10,7 (5,8)	17 (9,8)	10,7 (5,8)	17 (9,8)	17,3 (6,1)	18,7 (6,0)	17,3 (6,1)	18,7 (6,0)	17,3 (6,1)	18,7 (6,0)
Zehen 2-5	4,9 (2,9)	6,5 (3,4)	4,2 (3,4)	3,9 (2,2)	4,2 (3,4)	3,9 (2,2)	7,3 (4,5)	8,0 (4,6)	7,3 (4,5)	8,0 (4,6)	7,3 (4,5)	8,0 (4,6)
Ballen ges.	89,9 (8,6)	73,3 (7,9)	81,2 (6,2)	77,6 (10,0)	81,2 (6,2)	77,6 (10,0)	90,3 (8,3)	75,8 (7,7)	90,3 (8,3)	75,8 (7,7)	90,3 (8,3)	75,8 (7,7)
Met. I	26,7 (11,7)	20,3 (7,9)	21,8 (4,3)	31,6 (17,5)	21,8 (4,3)	31,6 (17,5)	18,5 (5,5)	25,7 (8,3)	18,5 (5,5)	25,7 (8,3)	18,5 (5,5)	25,7 (8,3)
Met. II/III	43,0 (11,5)	35,6 (5,7)	44,8 (7,4)	33,6 (7,7)	44,8 (7,4)	33,6 (7,7)	48,8 (11,4)	33,8 (5,6)	48,8 (11,4)	33,8 (5,6)	48,8 (11,4)	33,8 (5,6)
Met. IV/V	20,2 (7,7)	17,4 (6,2)	15,5 (3,5)	16,5 (12,0)	15,5 (3,5)	16,5 (12,0)	23,0 (8,4)	17,3 (4,8)	23,0 (8,4)	17,3 (4,8)	23,0 (8,4)	17,3 (4,8)
Mittelfuß	21,4 (8,5)	20,9 (7,0)	20,5 (8,6)	24,1 (13,7)	20,5 (8,6)	24,1 (13,7)	14,7 (10,2)	18,7 (9,8)	14,7 (10,2)	18,7 (9,8)	14,7 (10,2)	18,7 (9,8)
Ferse	65,2 (10,2)	67,3 (16,0)	69,8 (15,8)	59,6 (12,7)	69,8 (15,8)	59,6 (12,7)	78,8 (8,2)	60,8 (8,4)	78,8 (8,2)	60,8 (8,4)	78,8 (8,2)	60,8 (8,4)

5.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Hinsichtlich einer Differenzierung bei unterschiedlicher Gelenkbeteiligung bzw. gegenüber einem gesunden Vergleichskollektiv fanden sich folgende Merkmale einer veränderten Druckverteilungssituation am Fuß:

- bei Vorfußbefall eine nach Grad und subjektivem Beschwerdebild abgestufte Minderbelastung der Zehen, zum Teil vergesellschaftet mit einer Mehrbelastung des Metatarsalbereichs durch hohe Druckspitzen (VF III-IV)
- bei Sprung- und Kniegelenkbeteiligung eine gegenüber Normal- und Vorfußkollektiven erhöhte Großzehenbelastung bei erniedrigter Ballenbelastung, besonders zentral
- bei allen Kollektiven Übernahme eines erhöhten Teils der Belastung durch den Mittelfuß
- bei allen Kollektiven Erniedrigung der unter der Ferse auftretenden Kraft-/Druckwerte, besonders ausgeprägt bei schwerer Vorfuß- und Kniegelenkbeteiligung.

(Maximaldruckwerte ($P_{\max}$) und Gesamtkraft (F) verhalten sich in der Regel gleichsinnig.)

5.8 Fallbeispiel

Ein Fallbeispiel möge noch einmal die pedographische Analyse und typische Befunde beim Rheumatiker illustrieren:

Die 50jährige, normalgewichtige Patientin, bei der seit 15 Jahren eine chronische Polyarthritits besteht, gibt zum Untersuchungszeitpunkt geringe Beschwerden beim Gehen an, lokalisiert im Ballenbereich links sowie im rechten Sprunggelenk.

Die Füße präsentieren sich als Senk-Spreiz-Fuß mit klavusbedeckten Hammerzehen. Links sind die Hammerzehen ausgeprägter, rechts findet sich ein hochgradiger Hallux valgus.

Röntgenologisch kann links ein Vorfußbefall III. Grades mit Subluxationen der Zehen 3 - 5 bei mäßig ausgeprägter Sprung- und Kniegelenkbeteiligung (Grad I) diagnostiziert werden. Rechts sind sämtliche Gelenkmanifestationen an Vorfuß, Sprung- und Kniegelenk einem Grad II (nach Steinbrocker) zuzuordnen (Abb. 17 - 21).

Abb. 17 - 21 Fallbeispiel

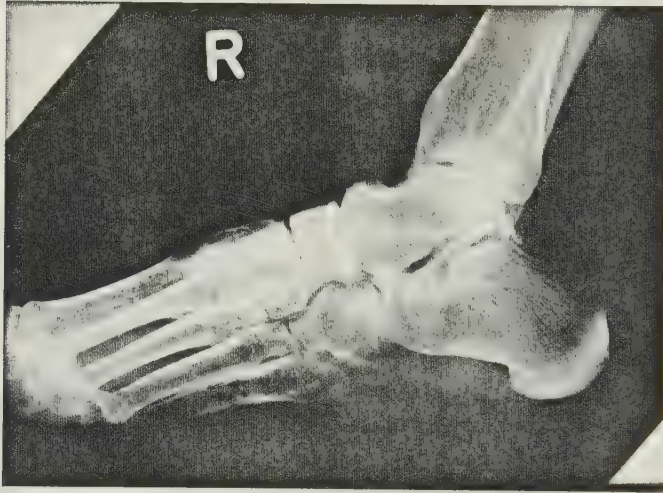
Abb. 17 u. 18 Klinischer Befund



Abb. 19
Röntgenbefund:
Vorfüße



Abb. 20 u. 21 Röntgenbefund: Sprunggelenke



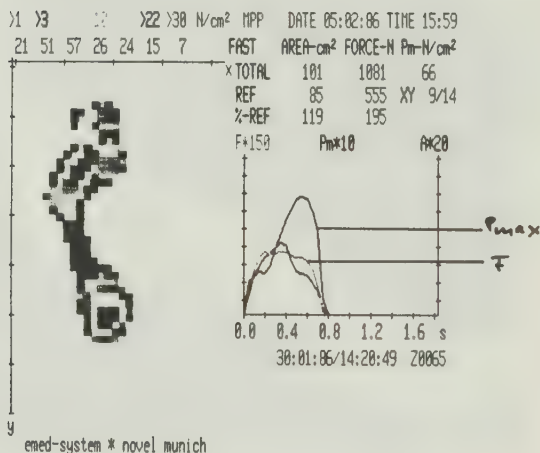
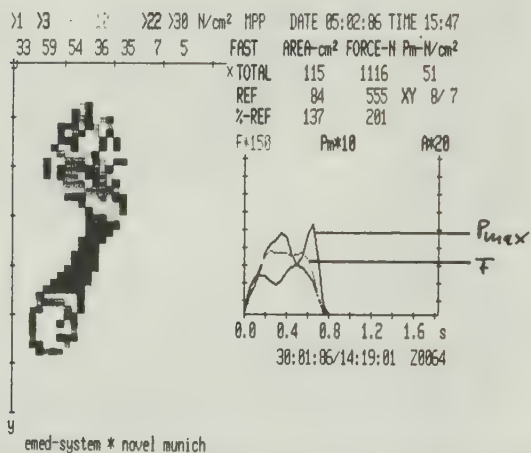
Pedographischer Befund

Bei einer Schrittweite von 56 cm wurde eine Abrolldauer von 0,8 Sekunden gemessen.

Im Maximaldruckbild (Abb. 22 und 23) wird die eingeschränkte Zehenfunktion besonders links deutlich: Die subluxierten Zehen sind nicht abgebildet. Rechts stellt sich der ausgeprägte Hallux valgus dar. Der Mittelfuß erscheint nur geringfügig verbreitert. Durch die farbliche Abstufung der pro Sensor gemessenen maximalen Druckwerte, wird insbesondere die Spreizfuß-Konstellation sichtbar - die höchsten Werte (rot) sind im mittleren Ballenbereich konzentriert.

F- und P_{max}-Kurve zeigen typisch veränderte Verläufe: Die F-Kurve läßt jede Dynamik vermissen; die Kraft verharrt auf einem Plateau. In der Maximaldruck-Kurve differieren beide Maxima stark in ihrer absoluten Höhe. Es errechnen sich Quotienten von 2,3 bzw. 2,9 für rechten und linken Fuß (Max. 2 : Max. 1 = 1,4 beim Vergleichskollektiv).

Abb. 22 und 23 Maximaldruckbild mit Verlaufskurven für rechten und linken Fuß



Die differenzierte Analyse der Druckverteilungssituation unter der Fußsohle erbringt folgende Resultate:

Der linke Fuß (Vorfußbefall Grad III) weist eine Zehenminderbelastung bei hohen Druckwerten besonders im zentralen Metatarsalbereich auf.

Gegensätzliche Ergebnisse liefert der rechte Fuß (ausgeprägte Mitbeteiligung von Sprung- und Kniegelenk): Trotz des hochgradigen Hallux valgus wird unter der rechten Großzehe ein $P_{\max}$ von 51 N/cm^2 erreicht. Auch F übertrifft mit 26 % Körpergewicht noch die Werte gesunder Vergleichspersonen. Der Metatarsalbereich erscheint gegenüber links - vor allem bezüglich $P_{\max}$ - geringer belastet.

Unter Metatarsale I jedoch lassen sich hier(rechts)für beide Meßgrößen erheblich höhere Werte feststellen, und umgekehrt unter Met. IV/V niedrigere. In etwa identisch ist die Druckbelastung von Mittelfuß und Ferse. Gegenüber gesunden Vergleichspersonen findet sich hier insbesondere eine verringerte Fersenbelastung (Normalwerte siehe Tab. 5).

Tab.12 Fallbeispiel: Differenzierte Druckverteilungssituation im Rechts-Links-Vergleich bei unterschiedlichen Gelenkmanifestationsformen

(re: Vorfuß III, Sprung- und Kniegelenk I;

li: Vorfuß, Sprung- und Kniegelenk jeweils II)

	$P_{\max}$		F % Körpergewicht	
	rechts	links	rechts	links
Großzehe	51	24	26	15
Zehen ₂₋₅	21	22	11	4
Ballen gesamt	31	66	76	87
Met. I	22	12	28	15
Met. II/III	31	66	40	55
Met. IV/V	10	32	8	17
Mittelfuß	6	7	17	15
Ferse	22	24	71	75

5.9 Diskussion

5.9.1 Interpretation der Ergebnisse

Der Verlust an Dynamik, das verhaltene Gangbild der cP-Patienten, die vorsichtig fast sofort den ganzen Fuß aufsetzen (dokumentiert auch durch die Videoaufnahmen), kommt in der Kraftverlaufskurve zum Ausdruck. Auch der verstärkte Einsatz des Mittelfußes innerhalb der Kraftverlagerung von der Ferse auf den Vorfußbereich wird deutlich.

Der Abstoßvorgang erfordert dann um so mehr Kraft. Dies dürfte eine Erklärung für die erhöhten Maximaldruckwerte im Metatarsalbereich bei schwerem Vorfußbefall liefern. Im übrigen entspricht die Verteilung innerhalb des Ballenbereichs mit der starken Betonung von Metatarsale II und III dem hier typischerweise vorhandenen kontrakten Spreizfuß. Die darüber hinaus feststellbare Minderbelastung der Zehen ist vor allem begründet in den üblichen Fußdeformitäten (Hallux valgus, Hammerzehen etc.). Die eingeschränkte Funktionsfähigkeit der Zehengrundgelenke korrespondiert mit röntgenologisch feststellbaren Läsionen sowie einer reduzierten Beweglichkeit und Minderung der groben Kraft.

Bei zusätzlicher ausgeprägter Sprung- und/oder Kniegelenkbeteiligung übernimmt allerdings der Zehenbereich wieder verstärkt eine Abstoßfunktion. Aufgrund der auch bei diesen Kollektiven feststellbaren Vorfußdeformitäten fällt diese Aufgabe im wesentlichen der Großzehe als stabilster Struktur zu. In Zusammenhang damit steht die signifikante Minderbelastung des Metatarsalbereichs. Neben der limitierten Funktionsfähigkeit ist hier vor allem auch an eine schmerzinduzierte Schonung des Sprunggelenks zu denken. Ohne ausreichende Flexion ist ein kraftvolles Abstoßen im Ballenbereich nicht möglich. Die Belastung wird nach vorne auf die Zehen verschoben. Im Falle der zusätzlichen Kniegelenkbeteiligung tragen möglicherweise eine verminderte Extensionsfähigkeit und damit eine Verlagerung des Körperschwerpunktes zu dieser Druckverteilungssituation bei.

Die Druckverteilung innerhalb des Metatarsalbereichs zeigt - abgesehen von der Betonung der zentralen Metatarsalia - eine große Variationsbreite. Hier spielt eventuell auch das Körpergewicht eine Rolle (Met. I im Vergleich der SG/KG-Kollektive). Wahrscheinlicher aber ist, daß die jeweilige Situation von den individuellen Merkmalen der Krankheitsausprägung an Gelenken und umliegenden Strukturen abhängt.

Die Belastungszunahme unter dem Mittelfußbereich korrespondiert mit einer Absenkung des Längsgewölbes, wie sie bei den meisten cP-Patienten anzutreffen ist. Zudem wird der Mittelfuß verstärkt eingesetzt zur Pufferung und Hinauszögerung der als schmerzhaft erlebten Vorfußbelastung.

Die erniedrigte Fersenbelastung ist wohl einerseits durch den oben beschriebenen, zaghaften, "plattfüßigen" Gang verursacht, andererseits auch durch die vorhandenen Funktions einschränkungen, besonders bei Sprung- und Kniegelenkbefall. So kann zum Beispiel die den normalen Abrollvorgang einleitende Extension beim Aufsetzen der Ferse von einem in seiner Bewegungsfähigkeit eingeschränkten oder schmerzhaften Sprunggelenk nicht mehr vollständig ausgeführt werden. Im anderen Fall verhindert möglicherweise die häufige Beugehaltung arthritischer Kniegelenke eine gute Fersenbelastung.

Eine Relativierung erfahren die Ergebnisse durch die auch bei "Normalpersonen" häufig vorkommenden Fußdeformitäten. Ein Vergleich zwischen 30- und 50-jährigem Normalkollektiv ergibt, daß sich mit dem Alter eine Minderung der Zehenbelastung zugunsten des Metatarsalbereichs einstellt (vgl. auch Hutton/Dhanendran [19]). Auch ein Spreizfuß scheint eine Verschiebung der Druckverteilung in diesem Sinne zu fördern. Jedoch werden die extrem niedrigen Werte unter dem Zehenbereich des VF III/IV-Kollektivs von den Vergleichspersonen nicht erreicht. Entsprechendes gilt für die Spitzenbelastungen des Ballenbereichs.

Die Variabilität der Werte innerhalb eines Kollektivs sowie das Ausmaß der Seitendifferenz kann auch bei den Vergleichspersonen relativ hoch sein, wobei sich auch hier eine Altersabhängigkeit feststellen läßt. Im Fall des cP-Kollektivs

besteht jedoch regelmäßig ein Zusammenhang mit den Gegebenheiten eines unterschiedlichen Gelenkbefalls und/oder subjektiver Schmerzhaftigkeit.

Problematisch ist sicher auch die allerdings typische Situation variierender Muster von Gelenkmanifestationen, deren Auswirkungen auf die Druckverteilungssituation sich miteinander verrechnen. Die trotzdem gute Übereinstimmung der Meßergebnisse innerhalb der verschiedenen Teilkollektive und deren Korrelation mit den Befunden spricht für die Eignung der gewählten Einteilung.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß trotz der Komplexität des Abrollvorgangs mit seinen vielen Einflußgrößen, unterschiedliche Gelenkbeteiligungen einer chronischen Polyarthritits in einem jeweils typisch veränderten Belastungsmuster ihren Ausdruck finden.

5.9.2 Ergebnisse anderer Untersuchungen im Vergleich

Vergleichbare Untersuchungen an CP-Patienten mit Vorfußbefall und in einigen Fällen zusätzlicher Sprunggelenkmanifestation führten Simkin (1981 [37]), Sharma (1979 [36]) und Jürgens (1987 [21]) durch.

Übereinstimmend nachgewiesen wurde die Minderbelastung des Zehenbereichs bei Vorfußbefall.

Weitgehender Konsens besteht auch hinsichtlich des Auftretens hoher Druckspitzen in Abhängigkeit von Schmerz bzw. Schweregrad des Vorfußbefalls. Die vergleichende Beurteilung der differenzierten Metatarsalbelastung gestaltet sich schwieriger, da jeweils andere Einteilungen vorgenommen wurden. Hier wurde bekanntlich eine Dreiteilung favorisiert, die der in fast allen Kollektiven vertretenen Spreizfußkomponente Rechnung trägt.

Eine signifikant verringerte Belastung der medialen Ballenkanten fanden sowohl Sharma (Met. I) als auch Simkin (Met. I und II) bei Patienten mit bewegungslimitierten Sprunggelenken. Dies entspricht auch den Ergebnissen für das hier vorgestellte Frauenkollektiv (SG und KG). Männer sowie übergewichtige Frauen (durchschnittliches Gewicht jeweils 76 kg) zeigen jedoch im Gegenteil ein stark belastetes Metatarsale I. Auch Jürgens fand diesbezüglich eine große Variationsbreite innerhalb seines Patientenkollektivs.

Die bei Sprung- und Kniegelenkbeteiligung mit großer Konstanz festgestellte Tendenz zur Entlastung des Ballenbereichs wird von Claeys [7] bestätigt, der in Fällen pathologischer Sprunggelenksituationen einen reduzierten Krafteinsatz in der Abstoßphase beobachten konnte.

Mit Ausnahme von Sharma berichten die oben genannten Autoren ebenfalls über eine Zunahme der Mittelfußbelastung bei Rheumatikern.

Hinsichtlich verringerter Druckwerte unter der Ferse besteht Übereinstimmung lediglich mit Simkin.

Abweichungen von der Norm in bezug auf den zeitabhängigen Verlauf der Vertikalkraft beschreiben analog Claeys [7] und Jürgens [21].

Von den Autoren, die Ganganalysen an cP-Patienten mit Sprung- bzw. Kniegelenkbeteiligung durchführten, wurde eine entsprechend differenzierte Druckverteilungsmessung am Fuß nicht vorgenommen.

Die Untersuchungen der Mayo-Klinik [14, 41] und von Locke [27] bestätigen unter anderem die häufig auch während des Abrollens beibehaltene Tendenz zur Flexion im Kniegelenk sowie einen charakteristisch veränderten Verlauf der Vertikalkraft.

Die Diskrepanz der Ergebnisse bezüglich der hauptsächlich zum Vergleich geeigneten Untersuchungen an Vorfuß-Patienten läßt sich möglicherweise durch die große Variationsbreite arthritischer Krankheitsmanifestationen erklären.

Es macht sicher einen Unterschied, ob zum Beispiel die Großzehe mitbetroffen ist, ob ein Befall an oberem oder unterem Sprunggelenk mithineinspielt. Alter der Patienten und individuelles Ausmaß der Gehbehinderung sind weitere Einflußgrößen.

Im Zuge der Etablierung einer differenzierten Ganganalyse in Diagnostik und Therapiekontrolle, werden vielleicht die jeweils gefundenen Ergebnisse noch an großen Patientenzahlen überprüft.

6. Zusammenfassung

Bei 32 Patienten (bis 60 J.) mit aktiver chronischer Polyarthrititis wurde eine Analyse der dynamischen Druckverteilungssituation unter der Fußsohle durchgeführt.

Zur Anwendung kam dabei ein zur Messung von Vertikalkräften geeignetes kapazitives Meßsystem. Neben der Gesamtkraft (F) wurden auch die pro analysiertem Fußabschnitt aufgetretenen maximalen Druckwerte ($P_{\max}$) berücksichtigt.

Die Patienten zeigten ein deutlich von der Norm gesunder Vergleichspersonen abweichendes Belastungsprofil. Innerhalb des Patientenkollektivs ließen sich charakteristische Unterschiede zwischen Patienten mit überwiegendem Vorfußbefall und solchen mit ausgeprägter Mitbeteiligung proximaler Gelenke (Sprung- und Kniegelenk) nachweisen.

Als wesentliches Merkmal der Vorfußkollektive erwies sich eine verminderte Zehenbelastung. In schweren Fällen trat eine Mehrbelastung des Metatarsalbereichs (zentral) durch hohe Druckspitzen hinzu. Im Gegensatz dazu konnten bei Patienten mit Sprung- und/oder Kniegelenkbeteiligung hohe Druckwerte unter der Großzehe festgestellt werden. Der Ballen erschien bei diesen Kollektiven entlastet. Allen Patienten gemeinsam war dabei die Spreizfußkonstellation in der Metatarsalbelastung.

Weitere Charakteristika, die bei Rheumatikern generell anzutreffen waren, sind eine erhöhte Mittelfußbelastung sowie reduzierte Druckwerte unter der Ferse.

Auch die zeitabhängig während des Abrollvorgangs registrierten Verlaufskurven der wirksamen Druckkräfte zeigten ein typisch verändertes Bild.

Die genaue Darstellung der tatsächlichen, individuellen Belastungssituation am Fuß beim Gehen, sollte eine nutzbringende Anwendung insbesondere in der konservativen physikali-

schen und orthopädischen Therapie ermöglichen. Zu denken ist hier z.B. an eine Optimierung von Gestaltung und Therapiekontrolle in Gangschulung und Einlagenversorgung.

In diesem Zusammenhang soll diese Studie zu einer weiteren Erforschung des Abrollverhaltens bei Rheumatikern anregen.

7. Anhang

7.1 Literaturverzeichnis

- 1 Arcan, M., Brull, M.A.: A Fundamental Characteristic of the Human Body and Foot, the Foot-Ground Pressure Pattern. J. Biomechanics, 9 (1976), 453 - 457.
- 2 Barrett, J.P.: Plantar Pressure Measurements Rational Shoe-Wear in Patients With Rheumatoid Arthritis. JAMA 235/11 (1976), 1138 - 1139.
- 3 Baumann, J.U.: Ganganalyse. Sandorama 1/1985, Sandoz AG, Basel.
- 4 Beierlein, H.R.: Aufbau und Anwendungsmöglichkeit einer Meßeinrichtung zur humanphysiologischen Erforschung der Biomechanik der unteren Extremität. Diss. München (1976).
- 5 Cavanagh, P.R., Lafortune, M.: Ground Reaction Forces in Distant Running. J. Biomach., 13 (1980), 397 - 406.
- 6 Chao, E.Y., Laughman, R.K., Schneider, E., Stauffer, R.N.: Normative Data of Kneejoint Motion and Ground Reaction Forces in Adult Level Walking. J. Biomech., 16/3 (1983), 219 - 233.
- 7 Claeys, R.: The Analysis of Ground Reaction Forces in Pathological Gait Secondary to Disorders of the Foot. Int. Orth., 7 (1983), 113 - 119.
- 8 Debrunner, H.U.: Biomechanik des Fußes. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1985.
- 9 Diebschlag, W.: Die Druckverteilung an der Fußsohle des Menschen im Stehen und Gehen, barfuß und im Schuh. Zeitschrift für Orthopädie, 120/6 (1982), 761 - 884.

- 10 Diebschlag, W., Müller-Limmroth, W., Beierlein, H.R.:
Die Komponenten der resultierenden Kraft unter der Fuß-
sohle des Menschen beim Gehen. *Das Leder*, 28 (1977), 202 -
209.
- 11 Elftmann, H.: A cinematic study of distribution of pressure
in the human fat. *Anat. Rec.*, 59 (1934), 481 - 491.
- 12 Franke, M.: *Colloquia rheumatologica*/23. Werk Verlag,
Dr. E. Banaschewsky, München-Gräfelfing.
- 13 Gerber, C.H., Hunt, G.C.: Evaluation and Management of the
Rheumatoid Foot. *Bull. N.Y. Acad. Med.* 61/4 (1985) 359 -
368.
- 14 Györy, A.N., Chao, E.Y., Stauffer, R.N.: Functional Eva-
luation of Normal and Pathologic Knees During Gait, *Arch.*
Phys. Med. Rehabil. 57 (1976) 571 - 577.
- 15 Hartung, H.: *Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik.*
Oldenburg Verlag, 1982.
- 16 Helm, W.: Zur Messung der Druckverteilung auf der Fuß-
sohle des Menschen. *Diss. Univ. Leipzig* (1965).
- 17 Hettkenkofer, H.J.: *Rheumatologie.* Georg Thieme Verlag,
Stuttgart, 1984.
- 18 Hornbostel, H., Kaufmann, W., Siegenthaler, W.: *Innere
Medizin in Klinik und Praxis/II.* Georg Thieme Verlag,
Stuttgart, 1985.
- 19 Hutton, W.C., Dhanendran, M.: A Study of the Distribution
of Load under the Normal Foot During Walking. *Int. Orth.*,
3 (1979), 153 - 157.

- 20 Hutton, W.C., Dhanendran, M.: The Mechanics of Normal and Hallux Valgus Feet - A Quantitative Study. Clin. Orth. Rel. Res., 157 (1981), 7 - 13.
- 21 Jürgens, K.G., Hagena, F.-W., Rosemeyer, B., Kormann, B.: Möglichkeiten zur Objektivierung von rheumatischen Vorfußdeformitäten. Akt. Rheumatol. 12 (1987) 3 - 8.
- 22 Kirsch, D., Frey, S., Schuh, D., Häring, H.U., Mehnert, H.: Dynamische Druckverteilungsmessung unter dem Fuß an Patienten mit diabetischen Ulcera. Akt. Endokr. Stoffw., 6 (1985), 133 - 142.
- 23 Knüsel, O., Wyss, U., Frey, O.: Die Bedeutung der Ganganalyse als Erfolgskontrolle der physikalischen Therapie. Therapiewoche, 35 (1985) 3241 - 3251.
- 24 Kurz, B., Diebschlag, W., Stumbaum, F.: Portables Druckverteilungsmeßsystem für biomechanische Gangspuranalysen. Biomed. Technik, 31/1 - 2 (1986) 19 - 24.
- 25 Larsen, A.: The Value of Individual Joints For Radiologic Assessment of Rheumatoid Arthritis. Scand. J. Rheumat. 5 (1976), 119 - 123.
- 26 Laughman, R.K., Askens, L.J., Bleimeyer, R.R., Chao, E.Y.: Objective Clinical Evaluation of Function - Gait Analysis. Phys. Ther., 64/12 (1984), 1839 - 1845.
- 27 Locke, M., Perry, H., Campbell, J., Thomas, L.: Ankle and Subtalar Motion During Gait in Arthritic Patients. Physical Therapy 64/4 (1984), 504 - 509.
- 28 Mathies, H.: Handbuch der Inneren Medizin/Rheumatologie, A/B. Springer Verlag, Heidelberg, 1985.

- 29 Minns, R.J., Craxford, A.D.: Pressure Under the Forefoot in Rheumatoid Arthritis. Clin. Orth. Rel. Res. 187 (1984) 235 - 242.
- 30 Müller-Limmroth, W., Beierlein, H.R., Diebschlag, W.: Die Druckverteilung unter der menschlichen Fußsohle: Qualitative und quantitative Meßergebnisse. Z. Orthop., 115 (1977), 929 - 936.
- 31 Nicol, K., Hennig, E.M.: Time Dependent Method for Measuring Force Distribution Using a Flexible Mat as Capacitor. Koni P., Biomechanics V.B., Baltimore: University Park Press 1976.
- 32 Nicol, K., Engelhardt, A.: Flexible Kraftaufnehmer zur Gangkontrolle. Orthopädie-Technik, '9 (1976), 179 - 182.
- 33 Sachs, L.: Angewandte Statistik. Springer Verlag, Berlin, 1978.
- 34 Schaff, P., Kirsch, D., Frey, S., Mehnert, H.: Dynamische Druckverteilungsmessungen unter der Fußsohle - Standardisierung der Pedographie. Akt. Endokr. Stoffw. (1987).
- 35 Schaff, P., Kirsch, D., Hauser, W., Mehnert, H.: Eine Geräteentwicklung zur Messung der Druckverteilung unter der Fußsohle im Schuh und deren Anwendbarkeit in der Diabetologie. Akt. Endokrin. Stoffw., 7 (1986), 129 - 135.
- 36 Sharma, M., Dhanendran, M., Hutton, W.C., Corbett, M.: Changes in Load Bearing in the Rheumatoid Foot. Ann. Rheum. Dis., 38 (1979), 549 - 552.
- 37 Simkin, A.: The Dynamic Vertical Force Distribution During Level Walking Under Normal and Rheumatic Feet. Rheumat. Rehabil., 20 (1981), 88 - 97.

- 38 Simkin, A., Stokes, J.A.F.: Characterisation of the Dynamic Vertical Force Distribution under the Foot. Med. Biol. Eng. Comp., 20 (1982), 12 - 18.
- 39 Soames, R.W., Blake, C.D., Stott, J.R.R., Goodbody, A., Brewerton, D.A.: Measurement of Pressure under the Foot During Function. Med. Biol. Eng. Comp. 20 (1982), 489 - 495.
- 40 Sobotta/Becher: Atlas der Anatomie des Menschen/I. Urban und Schwarzenberg, 1972.
- 41 Stauffer, R.N., Chao, E.Y., Györy, A.N.: Biomechanical Gait Analysis of the Diseased Knee Joint. Clin. Orth. Rel. Res. 126 (1977), 246 - 255.
- 42 Witt, A.N., Rettig, H., Schlegel, K.F.: Orthopädie in Praxis und Klinik VII/2. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1985.
- 43 Yack, Y.: Techniques for Clinical Assessment of Human Movement. Phys. Ther. 64/12 (1984), 1821 - 1830.

Danksagung

Im Zuge meiner Arbeit an der vorliegenden Untersuchung habe ich große Hilfsbereitschaft erfahren.

Mein besonderer Dank gilt dabei

Herrn Prof. Dr. med. H. Mehnert	für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit, diese Unter- suchung an seiner Klinik durch- führen zu können;
Herrn Dr. med. D. Kirsch †	für immer wieder neue Motiva- tion und wertvolle Anregungen;
Herrn Dr. med. P. Schaff	für engagierte Betreuung in Ver- suchsdurchführung und Ausarbei- tung;
Herrn Dr. med. A. Pilger	für vielfältige Unterstützung und ausführliche Beratung in rheumatologischen Fachfragen;
Frau A. Ohling, Herrn R. Seuss und Herrn M. Geuder	für tätige Mithilfe im Rahmen des Projekts;
Frau Dipl. Stat. E. Fichtelberger und Herrn Dipl.Stat. R.Würländer	für Beratung in Fragen der sta- tistischen Ausarbeitung;
Herrn Francis Fassnacht, meinem Mann	für die Gestaltung der Graphi- ken und weitere hilfreiche Unterstützung.

Sehr herzlich danken möchte ich auch Herrn Dr. med. Rave (Rheumaklinik Oberammergau) und Herrn Dr. med. Dixel (München) sowie ihren und allen anderen Patienten und Versuchspersonen, die durch ihre freundliche Mitarbeit das Zustandekommen dieser Arbeit ermöglichten.

Lebenslauf

30.11.1959 Geburt in München

Schulen

1966 - 1970 Grundschule an der Dachauer Straße, München
1970 - 1971 Maria-Ward-Gymnasium, München
1971 - 1979 Graf-Rasso-Gymnasium, Fürstenfeldbruck

Studium

1979 - 1986 Studium der Medizin an der Ludwig-
Maximilians-Universität, München

Ehe und Familie

27.05.1980 Geburt von Patrick
17.12.1984 Heirat mit Francis Patrick Fassnacht
08.05.1986 Geburt von Michel

